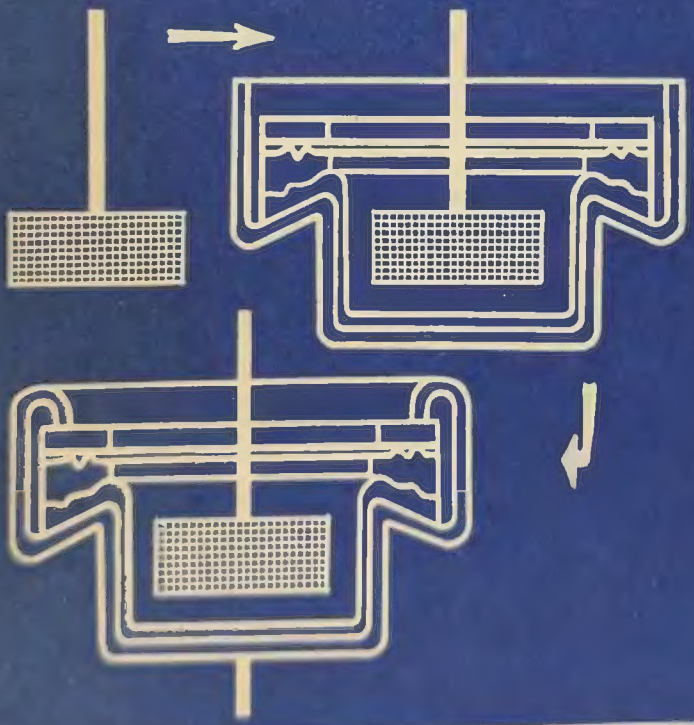
В. Е. ОНИЩУК, Е. И. АВЕРКИН

Технология производства радио-конденсаторов



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В. Е. ОНИЩУК, Е. И. АВЕРКИН

Технология производства радио-конденсаторов

Одобрено Ученым советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебника для средних профессионально-технических училищ

Москва
«Высшая школа» 1986

ББК 32.844
О-58
УДК 621.3.037

Рецензенты: инж. В.Я. Яковлев и канд. техн. наук М.Н. Дьяконов (Министерство электронной промышленности СССР)

Онищук В.Е., Аверкин Е.И.

О-58 Технология производства радиоконденсаторов: Учеб. для сред. ПТУ. – М.: Высш. шк., 1986. – 192 с., ил.

30 к.

В книге приведены сведения об особенностях конструкций разных типов радиоконденсаторов, описаны технологические процессы их производства, применяемые материалы и оборудование, а также автоматизированные системы управления. Рассмотрены методы определения параметров конденсаторов, измерительные приборы и комплексы.

$О\ \frac{2402020000-111}{052(01)-86}\ 41-86$

ББК 32.844
6Ф2.13

Валерий Евгеньевич Онищук, Евгений Иванович Аверкин

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОКОНДЕНСАТОРОВ

Зав. редакцией С.В. Никитина. Редактор А.Ш. Долгова
Мл. редакторы И.И. Степанова и Л.Н. Щелкова.
Художественный редактор Л.К. Громова. Художник В.Н. Хомяков.
Технический редактор И.А. Балелина. Корректор С.К. Завьялова.
Оператор Г.А. Шестакова

ИБ № 5601

Изд. № ЭГ-102. Сдано в набор 18.11.85. Подп. в печать 19.12.85. Т–19997. Формат 60×90 1/16. Бум. офс. № 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Объем 12,0 усл. печ. л. 12,13 усл. кр.-отт. 13,73 уч.-изд. л. Тираж 15 000экз. Зак. № 322 Цена 30 коп. Издательство "Высшая школа", 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14. Набрано на наборно-пишущих машинах издательства.
Отпечатано в Московской типографии № 8 "Союзполиграфпрома" при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7

© Издательство "Высшая школа", 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решениями Коммунистической партии и Советского правительства поставлены задачи дальнейшего развития и совершенствования электронной промышленности, повышения эффективности и качества выпускаемой продукции.

Конденсаторостроение по объему производства занимает в электронной промышленности одно из ведущих мест. Причем увеличение выпуска конденсаторов в последнее время в основном обеспечивается повышением технического уровня производства.

К конденсаторам предъявляют высокие требования по надежности и долговечности, что обеспечивается внедрением прогрессивной технологии, механизацией и автоматизацией производства, строгим соблюдением технологической дисциплины, высокой квалификацией рабочих и инженерно-технических работников.

Технологические процессы производства различных типов конденсаторов значительно отличаются друг от друга и состоят из большого количества разнообразных технологических операций.

Конденсаторостроение представляет собой сложное высокомеханизированное и автоматизированное производство. Созданы и работают автоматизированные линии по сборке трубчатых керамических конденсаторов КТ, металлобумажных цилиндрических конденсаторов МБМ, алюминиевых электролитических конденсаторов К50-12, керамических пластинчатых К10-7В и КД, а также большое количество другого полуавтоматического и автоматического оборудования. На основе этих линий созданы полностью автоматизированные цеха.

Для контроля качества конденсаторов в процессе изготовления измеряют их параметры. Большинство измерений выполняется приборами автоматического действия с цифровым отсчетом показаний, на контрольных автоматах и агрегатах.

Современное производство конденсаторов требует ответственного и квалифицированного обслуживания, наладки и ремонта оборудования. В настоящее время недостаточно уметь выполнять какую-либо одну технологическую операцию, необходимо знать особенности конструкции конденсатора, весь технологический процесс его изготовления, устройство и работу используемого оборудования.

В книге описаны свойства радиоконденсаторов, приведены общие сведения о технологическом процессе, особенностях конструкции и технологии производства бумажных, металлобумажных, пленочных, слюдяных, керамических, электролитических конденсаторов. Материал обобщен по отдельным технологическим признакам, свойственным производству нескольких типов конденсаторов.

Кроме того, подробно рассмотрены технологические операции, присущие конденсаторостроению, а технологические операции, применяемые в других областях промышленности, описаны менее подробно или опущены совсем (например, штамповка).

Такой же порядок сохранен и при рассмотрении оборудования: нестандартное, специальное оборудование рассмотрено более подробно, а универсальное, стандартное – менее подробно или опущено совсем. Это сделано из тех соображений, что описание технологических операций и стандартного оборудования можно найти в уже изданной технической литературе.

Наряду с технологическими операциями в книге рассмотрены основные материалы, применяемые в конденсаторостроении.

Описанные в настоящем учебном пособии особенности конструкции наиболее массовых типов конденсаторов, технологические процессы их изготовления, методы и средства контроля параметров должны помочь изучению теоретических основ производства конденсаторов.

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНДЕНСАТОРОВ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Электрический конденсатор – это система из двух или более токопроводящих обкладок, разделенных диэлектриком, предназначенная для накопления электрического заряда.

По области применения конденсаторы можно разделить на силовые и радиоконденсаторы. Силовые конденсаторы используются в технике сильных токов и высоких напряжений (в устройствах компенсации реактивного сопротивления линий электропередачи, для их защиты и в электрооборудовании), а радиоконденсаторы – в радиотехнической, электронной, измерительной, телефонной и телеграфной аппаратуре, в вычислительной технике и др.

По конструкции и назначению радиоконденсаторы бывают постоянной и переменной емкости. Емкость постоянных конденсаторов при работе аппаратуры не изменяется, а переменных можно плавно изменять. Существуют также полупеременные или, как их называют, подстроечные конденсаторы, емкость которых можно плавно изменять в определенных пределах, после чего конденсаторы работают как постоянные.

По напряжению конденсаторы постоянной емкости обычно разделяют на низковольтные и высоковольтные. Рабочее напряжение низковольтных – от нескольких вольт до нескольких сотен вольт, а высоковольтных – несколько киловольт. Для работы на переменном напряжении используют конденсаторы большой или малой мощности. Большой считают реактивную мощность выше 2–3 кВ · А.

Характеристики конденсаторов, их конструкции и области применения зависят от материала диэлектрика и его свойств. В настоящее время принята классификация, предложенная В.Т. Ренне*, по которой конденсаторы разделяются на следующие виды:

с газообразным диэлектриком (воздушные, газонаполненные и вакуумные);

с жидким диэлектриком (наполненные маслом или синтетической жидкостью);

с твердым неорганическим диэлектриком (стеклянные, стеклоэмалевые, стеклопленочные, слюдяные, керамические, тонкослойные из неорганических пленок);

---

*Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. – Л., 1969.

с твердым органическим диэлектриком (бумажные, металлобумажные, пленочные, комбинированные – бумажно-пленочные и тонкослойные из органических синтетических пленок);

с оксидным диэлектриком – электролитические (алюминиевые, танталовые, ниобиевые), которые подразделяются на жидкостные, сухие и твердые (оксидно-полупроводниковые и оксидно-металлические).

Конденсаторы переменной емкости могут иметь механическое и электрическое управление емкостью. Конденсаторы с механическим управлением емкостью бывают с газообразным, с жидким или с твердым диэлектриком, а с электрическим – с сегнето-керамическим (вариконды) и полупроводниковым (варикапы).

Как всякое электрическое устройство конденсаторы обладают рядом электрических свойств, которые необходимо знать, чтобы правильно их изготовлять и применять. Основными электрическими характеристиками конденсаторов являются емкость, ее температурный коэффициент и температурная стабильность, сопротивление изоляции, тангенс угла диэлектрических потерь, электрическая прочность. Приняты две системы обозначения (маркировки) конденсаторов: буквенная (старая) и цифровая (новая).

Буквенную систему применяют для обозначения тех видов конденсаторов, которые были разработаны до 1960 г., но выпускаются и в настоящее время. По этой системе первая буква К обозначает конденсатор, вторая – тип диэлектрика (Б – бумажный, С – слюдяной, К – керамический, Э – электролитический и т.д.), третья характеризует конструктивные особенности, в частности герметичность исполнения или условия эксплуатации. Для упрощения первую букву К начали опускать и в маркировке остались вторая, третья и последующие буквы (например, МБГО – конденсатор металлобумажный герметизированный с однослойным диэлектриком или МПГТ – конденсатор металлопленочный герметизированный теплостойкий).

Расширение номенклатуры выпускаемых конденсаторов потребовало более четкой системы их обозначений. В результате была создана и введена цифровая система (ГОСТ 13453–68), в соответствии с которой конденсаторы разделяются на группы по виду диэлектрика, назначению и варианту исполнения. Так, обозначения К50-6 и К42У-2 соответственно расшифровываются так: К – конденсатор, 50 – алюминиевый электролитический, 42 – металлобумажный, 6 и 2 – номера конструктивного исполнения, У – для цепей постоянного и переменного токов, работающих также в импульсных режимах.

§ 2. ЕМКОСТЬ

Способность накапливать на обкладках электрические заряды под действием приложенного напряжения и удерживать его, когда напряжение снимается, называют *емкостью конденсатора.* Если к конденсатору приложено напряжение U (В) и на его обкладках накапливается заряд Q (Кл), емкость

$$C = Q/U.$$

Конденсатор, на обкладках которого накапливается заряд в один кулон (1 Кл) при напряжении в один вольт (1 В), имеет емкость один фарад (1 Ф). Поскольку фарад очень большая единица, емкость конденсаторов принято измерять в микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) или пикофарадах (пФ): $1\ \Phi = 10^6$ мкФ $= 10^9$ нФ $= 10^{12}$ пФ.

Емкость конденсатора зависит от площади обкладок и расстояния между ними (т.е. от геометрических размеров), а также от диэлектрической проницаемости диэлектрика, разделяющего обкладки. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика показывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора, если воздушный зазор между его обкладками заполнить данным диэлектриком. Так, емкость (пФ) плоского конденсатора с двумя обкладками

$$C = 0{,}0884\ \epsilon S/d,$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость; S – площадь обкладки, см^2; d – толщина диэлектрика, см.

В маркировке конденсаторов обычно указана номинальная емкость $C_н$, измеренная при нормальной температуре и влажности, а также допустимое отклонение, которое выражают в процентах и определяют по формуле

$$C_0 = [(C_ф - C_н)/C_н] \cdot 100\%,$$

где $C_ф$ – фактическая емкость.

В зависимости от допустимого отклонения емкости различают одиннадцать классов точности конденсаторов:

Класс точности	001	002	005	00	0	I	II	III	IV	V	VI
Допустимое отклонение, %	±0,1	±0,2	±0,5	±1	±2	±5	±10	±20	От –10 до +20	От –20 до +30	От –20 до +50

Наиболее широко применяют конденсаторы I, II и III классов точности. Электролитические конденсаторы могут иметь допустимое отклонение емкости в пределах от + 80 до –20%.

§ 3. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ И ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ЕМКОСТИ

При повышении температуры емкость конденсаторов одних типов увеличивается, а других уменьшается. Изменения емкости определяются зависимостью диэлектрической проницаемости диэлектрика от температуры, а также геометрическими размерами диэлектрика и обкладок. Так, увеличение площади обкладок от температуры повышает, а толщины диэлектрика уменьшает емкость конденсатора.

Влияние температуры на емкость конденсатора характеризуется температурным коэффициентом емкости (ТКЕ) – одним из важнейших параметров конденсаторов, определяющим их применение в различной аппаратуре. Относительное изменение емкости конденсатора при изменении температуры на 1 °С называют *температурным коэффициентом емкости:*

$$TKE = (C_2 - C_1) / [C_1 (t_2 - t_1)],$$

где C_1 и C_2 – емкость конденсатора при температуре t_1 и t_2.

Температурный коэффициент емкости (1 °С) может быть положительным и отрицательным.

Иногда используют другую характеристику – *температурную стабильность емкости* (ТСЕ), определяющую остаточное изменение емкости при возвращении конденсатора к исходной температуре после завершения температурного цикла (нагрев – охлаждение):

$$TCE = (\Delta C/C) \cdot 100\%,$$

где C – емкость конденсатора перед испытанием; ΔC – остаточное изменение емкости.

§ 4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Идеальный диэлектрик не должен пропускать ток под действием приложенного постоянного напряжения. Однако при подаче на реальный конденсатор постоянного напряжения проходящий через него ток падает не до нуля, а до некоторого значения, называемого *током утечки.*

Ток утечки, в основном обусловленный ионной проводимостью диэлектрика и абсорбцией газов, а также дефектами кристаллической решетки, представляет собой сумму токов, проходящих через диэлектрик и элементы конструкции конденсатора. Так как проводимость диэлектрика очень мала, он оказывает большое сопротивление току утечки и его сопротивление $R_{из}$, определяемое как отношение рабочего напряжения U к току утечки $I_{ут}$ ($R_{из} = U/I_{ут}$), довольно велико. Поэтому обычно сопротивление диэлектрика выражают в мегомах (1 МОм = 10^6 Ом) или в тераомах (1 ТОм = 10^6 МОм = 10^{12} Ом).

При определении сопротивления изоляции конденсаторов большую роль играют внешние условия. Обычно сопротивление изоляции измеряют при нормальных условиях: температуре окружающей среды (20 ±5) °С и относительной влажности до 80%. При увеличении относительной влажности и температуры сопротивление изоляции значительно уменьшается. Поэтому при температурах, отличных от (20 ±5) °С, полученное сопротивление изоляции пересчитывают по формуле

$$\mathrm{tg} R_{из\ 20°C} = \mathrm{tg} R_{из\ t°C} + \beta (t°C - 20°C),$$

где $R_{из\ 20°C}$ – сопротивление изоляции при 20 °С; $R_{из\ t°C}$ – сопротивление изоляции при t °С; t °С – температура, при которой выполнялись измере-

ния; β – коэффициент, значение которого зависит от типа диэлектрика конденсатора (например, β слюды равен 0,01, а бумаги – 0,003).

§ 5. ТАНГЕНС УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Если бы существовал идеальный электрический конденсатор, то включение его в электрическую цепь не вызвало бы никакого поглощения электрической энергии. Однако такое устройство создать невозможно. Реальные конденсаторы при включении их в электрическую цепь в большей или меньшей степени поглощают электрическую энергию, которая расходуется на их нагрев, а затем рассеивается в окружающую среду.

При постоянном токе эти потери энергии происходят из-за несовершенства диэлектрика и обусловлены потерями проводимости, а при переменном складываются из следующих потерь: на электрический гистерезис (поворот дипольных молекул, смещение связанных ионов диэлектрика в переменном электрическом поле); на ионизацию воздушных включений; в металлических частях конденсатора (электрический ток, проходя по обкладкам, контактам и выводам конденсатора, нагревает их); проводимости (как и при постоянном токе). Характеризует эти потери *тангенсом угла диэлектрических потерь* tg δ.

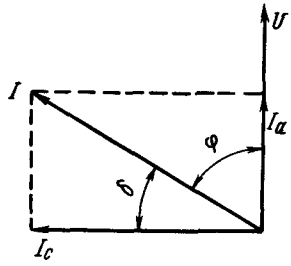


Рис. 1. Векторная диаграмма тока и напряжения в реальном конденсаторе

В отличие от идеального в реальном конденсаторе угол сдвига φ между векторами тока I и напряжения U (рис. 1) не равен 90° ($\neq$90°). Угол δ, дополняющий до 90° угол сдвига φ между векторами тока и напряжения в реальном конденсаторе, называется *углом диэлектрических потерь* и обычно составляет несколько градусов или минут. Для характеристики потерь энергии в конденсаторе используют не угол δ, а его тангенс tg δ, который может быть выражен как отношение активной мощности P конденсатора к его реактивной мощности Q:

$$\operatorname{tg}\delta = P/Q = UI\cos\varphi/UI\sin\varphi.$$

§ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ

Электрическая прочность конденсатора – это способность его диэлектрика сохранять изолирующие свойства при приложенном напряжении. Если напряжение на обкладках конденсатора постепенно повышается, при каком-либо его критическом значении происходит пробой, т.е. разрушение

структуры диэлектрика и замыкание обкладок накоротко. Причем чем выше напряжение, при котором происходит пробой, тем выше электрическая прочность диэлектрика. Таким образом, электрическая прочность характеризуется пробивным напряжением (кВ/мм), представляющим собой отношение пробивного напряжения $U_{пр}$ (кВ) к толщине диэлектрика d (мм):

$$E_{пр} = U_{пр}/d.$$

Электрическая прочность зависит от толщины, вида и структуры диэлектрика, особенностей конструкции конденсатора (площади обкладок, условий теплоотдачи) и других факторов. Электрический пробой – сложное и в настоящее время не до конца изученное явление, происходящее в диэлектрике. Различают три вида пробоя твердых диэлектриков: тепловой, электрохимический и электрический. Тепловой пробой происходит в результате выделения в диэлектрике тепла при работе конденсатора. Электрохимический пробой возникает в результате химических процессов, протекающих под действием электрического поля, вследствие которых диэлектрик становится электрически менее прочным. Электрический пробой обусловлен электрическими процессами, протекающими в структуре диэлектрика, и наступает при некоторой предельной напряженности поля.

Электрическая прочность диэлектрика, находящегося в электрическом поле, может быть нарушена, если напряженность поля выше критического значения, при котором наступает пробой. Проверка электрической прочности – не измерение какого-либо параметра, например емкости, а в полном смысле испытание конденсатора.

Для оценки электрической прочности конденсатора применяют такие понятия, как рабочее $U_{раб}$, испытательное $U_{исп}$ и пробивное $U_{пр}$ напряжения. Рабочим называют напряжение, при котором конденсатор может надежно работать длительное время в определенных условиях, оговоренных соответствующими ГОСТами или ТУ. Испытательным называют напряжение, которое конденсатор должен выдержать без пробоя в течение небольшого промежутка времени (обычно до 10 с). Пробивным называют напряжение, при котором конденсатор выходит из строя при плавном подъеме напряжения от 0 до $U_{пр}$ в течение нескольких секунд.

При проверке электрической прочности испытывать конденсаторы рабочим напряжением нет смысла, так как при этом напряжении они должны надежно и стабильно работать длительное время без каких-либо нарушений. Целесообразнее проводить испытания повышенным напряжением. Проводить испытания пробивным напряжением в массовом производстве неразумно, так как им подвергаются 100% выпускаемых конденсаторов, которые при этом были бы приведены в негодность. Поэтому испытательное напряжение берут несколько выше рабочего. Большинство конденсаторов согласно требованиям ГОСТа или ТУ испытывают на электрическую прочность постоянным напряжением. При этом конденсаторы должны выдерживать без электрического перекрытия или пробоя приложенное к их выводам напряжение постоянного тока, равное двойному или тройному рабочему напряжению.

§ 7. НАДЕЖНОСТЬ

Надежность — это свойство конденсаторов выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Надежность конденсаторов зависит от качества материалов, из которых они изготовлены, условий производства и эксплуатации и ряда других причин.

Одной из причин отказов конденсаторов является превышение допустимых режимов эксплуатации. В технической документации строго оговариваются значения таких основных характеристик конденсаторов, как напряжение постоянного тока, частота, амплитуда и форма напряжения переменного тока, допустимый ток и др. Для надежной работы конденсатора очень важно соблюдать указанные в технической документации условия эксплуатации: температуру окружающей среды, допустимые влажность, давление, вибрации и др.

Допустимый постоянный ток является важной характеристикой конденсатора, определяющей его надежную работу, так как при постоянном токе процесс старения диэлектрика заряженного конденсатора проходит скорее, чем незаряженного, с течением времени ухудшаются электрические параметры и в конечном счете происходит пробой диэлектрика. Старению подвержены в той или иной мере почти все диэлектрики, например такие, как бумага, синтетическая пленка, слюда.

Увеличение напряжения постоянного тока усиливает миграцию серебра в слюдяных конденсаторах, что постепенно снижает их сопротивление изоляции и электрическую прочность. В бумажных конденсаторах под воздействием постоянного электрического поля возникают электрохимические процессы, приводящие к старению диэлектрика. Одновременно с этим, особенно при повышенных температурах эксплуатации и наличии незаполненных пропиточным материалом пор в бумаге (в результате некачественной пропитки), могут возникнуть ионизационные процессы, которые вызовут немедленный пробой диэлектрика или подготовят условия к последующему пробою. Следует отметить, что в местах локальных дефектов диэлектриков (трещины, сколы, поры и т.п.) процессы старения ускоряются.

Основной причиной отказов конденсаторов при переменном напряжении являются ионизационные процессы, развивающиеся в местах остаточных включений газа, в закрытых порах, у краев электродов. Образующиеся при этом оксиды азота и озон являются активными окислителями, разрушающими органические диэлектрики. Интенсивность ионизации при увеличении частоты и амплитуды приложенного переменного напряжения резко увеличивается. Рост тока, проходящего через конденсатор, сверх допустимого может вызвать, особенно в конденсаторах с металлизированными обкладками, оплавление электродов и уход емкости, а иногда — пробой диэлектрика.

Особо следует остановиться на влиянии температуры на интенсивность отказов конденсаторов. Замечено, что при увеличении температуры примерно на 10°С интенсивность отказов возрастает приблизительно вдвое. При повышении температуры процесс старения происходит более интенсивно, увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь, снижаются сопротивле-

ние изоляции и электрическая прочность. Повышение температуры увеличивает опасность нарушения герметичности герметизированных конденсаторов, поэтому так резко возрастает интенсивность отказов.

Влажность также увеличивает число отказов, особенно негерметизированных конденсаторов и при длительном воздействии. Влажность вызывает коррозию металлических частей, способствует развитию разрушающе действующих микроорганизмов, увеличивает тангенс угла диэлектрических потерь, снижает сопротивление изоляции и электрическую прочность. Кроме того, влажность резко увеличивает число отказов конденсаторов при одновременном повышении электрических нагрузок. Только полностью герметизированные конденсаторы способны работать длительное время при воздействии повышенной влажности.

Отказы конденсаторов могут происходить также по другим, не рассмотренным здесь причинам.

§ 8. УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Кроме основных характеристик конденсаторы могут оцениваться также по удельным характеристикам, которые позволяют сравнить различные конденсаторы по стоимости, массе, объему, емкости. Удельные характеристики позволяют, кроме того, определить рациональную область применения конденсаторов, а также соответствие их современным требованиям. Наиболее распространенными удельными характеристиками конденсаторов являются удельные емкость, реактивная мощность и заряд.

Удельная емкость $C_{уд} = C/V$ (где C и V – емкость и объем конденсатора) показывает, какой емкостью обладает единица объема конденсатора.

Удельная реактивная мощность – это отношение мощности конденсатора к единице его объема или массы:

$$Q_v = Q/V; \quad Q_m = Q/m,$$

где Q – реальная мощность, V – объем и m – масса конденсатора.

Удельный заряд – отношение заряда к единице объема или массы конденсатора:

$$W_v = CU^2/(2V); \quad W_v = CU^2/(2m),$$

где W – заряд, C – емкость, U – напряжение, до которого заряжен конденсатор.

§ 9. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ СЕКЦИЙ

Радиоконденсаторы постоянной емкости имеют две наиболее распространенные конструкции секций: пластинчатую (рис. 2,*а*) и спиральную (рис. 2,*б*). Значительно реже применяют цилиндрические секции (рис. 2,*в*).

Керамические конденсаторы в основном выпускаются пластинчатой конструкции, а слюдяные, стеклослюдяные, стеклокерамические и стеклопленочные – многопластинчатой (их собирают из соединенных параллельно

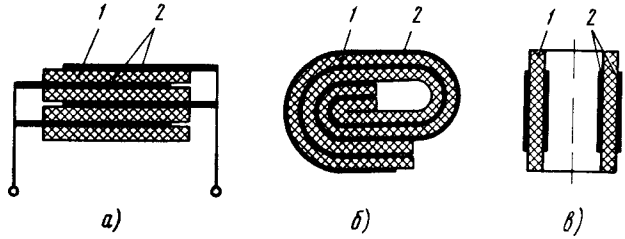


Рис. 2. Основные конструкции секций конденсаторов: *а* – пластинчатая, *б* – спиральная, *в* – цилиндрическая; *1* – диэлектрик, *2* – обкладки

элементарных двухобкладочных секций). Пластины диэлектрика в этих конденсаторах могут быть прямоугольными, квадратными или в виде диска.

Спиральную конструкцию секций имеет большинство бумажных, металлобумажных, пленочных конденсаторов и некоторые электролитические. Керамические трубчатые конденсаторы в основном изготовляют цилиндрической конструкции.

Емкость (пФ) секций пластинчатого конденсатора

$$C = 0{,}0884\,\epsilon S\,(n-1)/d,$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика; S – активная площадь обкладки, см^2; n – число обкладок; d – толщина диэлектрика, см.

Емкость (пФ) цилиндрической секции

$$C = 0{,}241\,\epsilon l/(\lg D_c),$$

где l – активная длина обкладки, см; $D_c = D_2/D_1$ – условный диаметр секции, см (D_1 – внешний диаметр внутренней обкладки, см; D_2 – внутренний диаметр внешней обкладки, см).

Емкость (мкФ) спиральной секции

$$C = 0{,}1768\,\epsilon bl/d,$$

где b и l – ширина и длина обкладки, см; d – толщина диэлектрика, см.

Конструкцией конденсаторов часто предусмотрено последовательное, параллельное или смешанное (последовательно-параллельное) соединение нескольких секций.

Общая емкость при параллельном соединении (рис. 3, *а*)

$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n.$$

Если же емкость секций одинакова,

$$C = nC_1,$$

где n – количество секций.

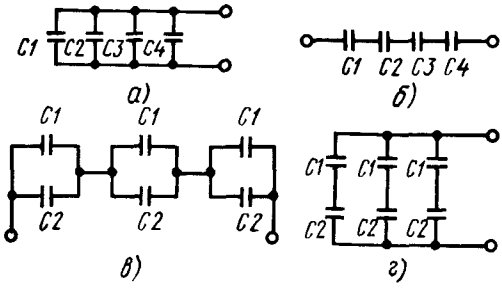


Рис. 3. Соединение секций конденсатора: *а* – параллельное, *б* – последовательное, *в* и *г* – смешанное

При последовательном соединении секций (рис. 3,*б*) емкость конденсатора

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \ldots + 1/C_m.$$

При равенстве емкости отдельных секций общую емкость определяют проще:

$$C = C_1/m,$$

где m – количество последовательно соединенных секций.

Если конденсатор состоит из m последовательно соединенных групп секций, каждая из которых содержит n параллельно соединенных секций одинаковой емкости (рис. 3,*в*), общая емкость

$$C = nC_1/m.$$

При параллельном соединении n групп секций с m последовательно соединенных секций одинаковой емкости (рис. 3,*г*) в каждой группе общую емкость конденсатора вычисляют по этой же формуле.

Конструкцией секций и выбранным диэлектриком в большой степени определяется технологический процесс производства конденсаторов.

Контрольные вопросы

1. Какое устройство называют электрическим конденсатором?
2. Какие виды конденсаторов вы знаете?
3. Что такое емкость конденсатора, тангенс угла диэлектрических потерь, температурный коэффициент и температурная стабильность емкости, электрическая прочность и сопротивление изоляции?
4. Назовите единицы измерения электрических параметров конденсаторов.
5. Какие факторы влияют на надежность конденсаторов?
6. Какие схемы соединения секций конденсаторов вы знаете?

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНДЕНСАТОРЫ С ОРГАНИЧЕСКИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

§ 10. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

В зависимости от используемого органического диэлектрика конденсаторы делятся на бумажные, пленочные и комбинированные, а по виду обкладок – на фольговые с обкладками из тонкой (7 мкм) алюминиевой фольги и металлизированные, в которых обкладки наносятся непосредственно на диэлектрик (конденсаторную бумагу или пленку) испарением в вакууме. Металлизированные конденсаторы соответственно называют металлобумажными и металлопленочными.

Конденсаторы с органическим диэлектриком, независимо от используемого вида обкладок и диэлектрика, имеют общую основу конструкции – конденсаторную секцию в виде смотанных в спираль двух или более металлических лент обкладок с проложенными между ними одной или несколькими лентами диэлектрика.

Секции бумажных, пленочных и комбинированных конденсаторов могут быть цилиндрическими (рис. 4,*а*) и плоскопрессованными (рис. 4,*б*). Опрессовывая цилиндрические секции, намотанные на оправки большого диаметра, получают плоскопресованные секции. Цилиндрические секции используют при изготовлении односекционных конденсаторов небольшой емкости и низкого напряжения, а также проходных конденсаторов. Плоскопрессованные секции более распространены, так как лучше заполняется объем прямоугольного корпуса конденсатора.

Взаимное расположение обкладок и бумажных лент в секции может быть различным. Наиболее распространенными видами намотки являются обычная (со скрытой фольгой – рис. 5,*а*), безындукционная (с выступающей за торцы секции фольгой – рис. 5,*б*) и проходная (рис. 5,*в*). Безындукционная намотка уменьшает индуктивность и потери в секции и обеспечивает более надежную работу конденсаторов при малых (до 1 В) напряжениях, так как выводы припаиваются к выступающим у торцов секций краям обкладок.

Секции любой конструкции должны иметь закраину – полоску диэлектрика, не покрытую фольгой, которая предотвращает пробой по торцу между обкладками. Размер закраины обусловливается напряжением, прикладываемым к конденсатору. В секции с обычной намоткой вкладывают ленточные или проволочные выводы.

Секции металлобумажных и металлопленочных конденсаторов чаще всего изготовляют из двух лент металлизированной бумаги или пленки (рис. 6,*а*). Ленты диэлектрика обычно металлизируют с одной стороны, но применяют также ленты, металлизированные с двух сторон. При намотке секций конденсаторов повышенного напряжения между металлизированными лентами прокладывают один или несколько слоев диэлектрика (рис. 6,*б*).

Секции пленочных конденсаторов для большей температурной стабильности иногда наматывают на пластмассовый стержень, который позволяет получить лучшую стабильность их геометрических размеров.

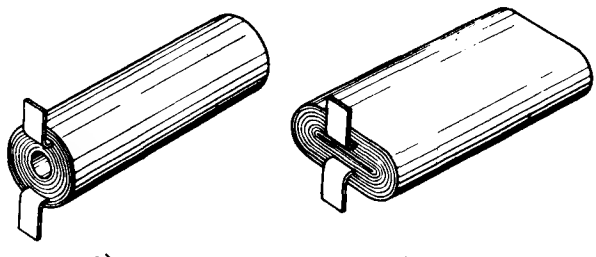


Рис. 4. Секции конденсаторов:
а – цилиндрическая, *б* – плоскопрессованная

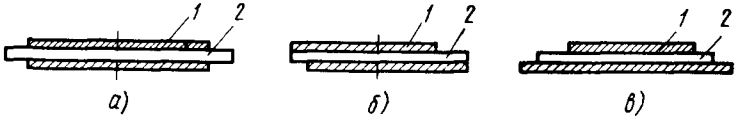


Рис. 5. Виды намотки секций:
а – обычная, *б* – безындукционная, *в* – проходная; *1* – фольга, *2* – конденсаторная бумага (пленка)

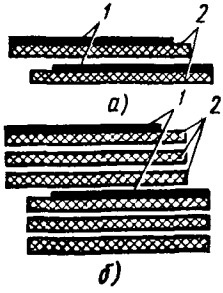


Рис. 6. Схемы намотки секций металлобумажных конденсаторов:
а – из двух лент металлизированной бумаги, *б* – с дополнительными слоями бумаги; *1* – металлический слой; *2* – бумага (пленка)

§ 11. БУМАЖНЫЕ И МЕТАЛЛОБУМАЖНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Основным диэлектриком для бумажных и металлобумажных конденсаторов служит твердый органический диэлектрик – тонкая (6–20 мкм) конденсаторная бумага.

Бумажные конденсаторы, как правило, изготовляют в виде намотанных в спираль секций из двух металлических фольговых ленточных обкладок с приложенными между ними несколькими лентами конденсаторной бумаги. Бумажные конденсаторы (рис. 7,*а–е*) бывают цилиндрической (БМ, БМТ, ОКБГ-М, КБГ-И, К40У-9) и прямоугольной (КБГ-МП, КБГ-МН, К40У-5) формы и состоят из одной или нескольких секций *4*, внешних проволочных или лепестковых выводов *1*, уплотняющих элементов *2* (колпачки – в цилиндрических и картонные или другие изолирующие прокладки –

в прямоугольных), корпуса *3*, элементов герметизации (проходных стеклянных или керамических изоляторов *5*), резиновых шайб или деталей, выполненных из эпоксидных композиций.

Секции бумажных конденсаторов наматывают из двух лент алюминиевой фольги толщиной 5–7 мкм и разделяющих их двух или более лент конденсаторной бумаги. Наличие в конденсаторной бумаге токопроводящих включений вынуждает применять в качестве диэлектрика не одну ленту, а несколько, что позволяет избежать замыкания обкладок.

Бумажные конденсаторы применяют в схемах, в которых требуется длительная работа при заданном напряжении, небольшие точность и стабильность емкости. Характеристики некоторых типов бумажных конденсаторов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики бумажных конденсаторов

Тип	Интервал рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкм
БМ-2	От –60 до +70	150, 200, 300	0,047–0,00047
БМТ-2	От –60 до +100	400, 63, 630	0,00047–0,22
КБГ-И	От –60 до +70	200, 400, 600	0,1–0,00047
ОКБГ-М	От –60 до +70	200, 400, 600	10–0,25
К40У-9	От –60 до +125	200, 400, 630, 1000	0,00047–1
КБГ-МН	От –60 до +70	200, 400, 600, 1000, 1500	10–0,25
КБГ-МП	От –60 до +70	200, 600, 1000, 1500	2–0,1
К40П-2	От –60 до +85	400	0,0001–0,047
К40У-5	От –60 до +85	600, 1000, 1500	0,01–6
К40–11	От –60 до +125	200, 630, 1000	0,00047–0,47

Металлобумажные конденсаторы (рис. 8) отличаются по конструкции от бумажных лишь тем, что непосредственно на конденсаторную бумагу методом испарения в вакууме наносят слой цинка или алюминия толщиной 0,03–0,05 мкм. Металлизация бумаги – очень ответственная операция, от которой зависит качество конденсаторов.

Одной из особенностей металлобумажных конденсаторов является то, что тонкие металлические обкладки вокруг точки короткого замыкания (т.е. вокруг токопроводящих включений в бумаге) при пробое выгорают. Способность ликвидировать места коротких замыканий вокруг точечных токопроводящих включений, т.е. самовосстановление, позволяет не опасаться пробоя в случайных слабых местах диэлектрика. Поэтому в металлобумажных конденсаторах в роли диэлектрика можно использовать один слой бумаги между обкладками, что позволяет изготовлять их значительно большей удельной емкости, чем бумажные.

Для изоляции токопроводящих частиц бумагу для однослойных секций перед металлизацией покрывают слоем этилцеллюлозного лака. Кроме то-

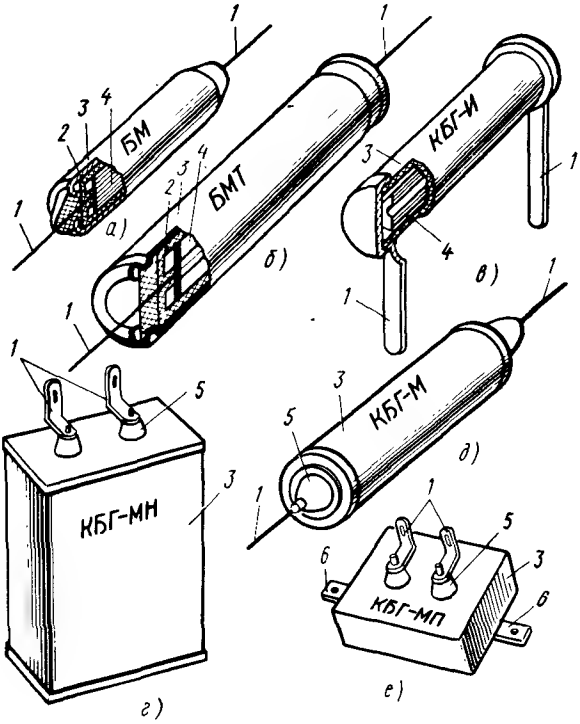


Рис. 7. Бумажные конденсаторы:
а – БМ, *б* – БМТ, *в* – КБГ-И, *г* – КБГ-МН, *д* – КБГ-М, *е* – КБГ-МП; *1* – внешние выводы, *2* – уплотняющий элемент, *3* – корпус, *4* – секция, *5* – проходной стеклянный изолятор, *6* – крепежные лапки

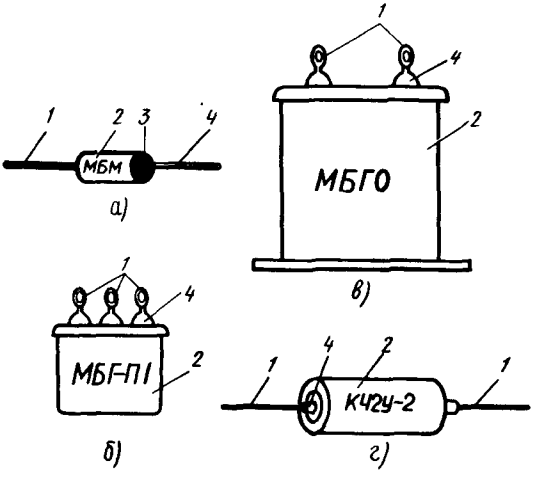


Рис. 8. Металлобумажные конденсаторы:
а – МБМ, *б* – МБГ-П1, *в* – МБГО, *г* – К42У-2; *1* – внешние выводы, *2* – корпус, *3* – уплотнение, *4* – стеклянный изолятор

го, в технологический процесс введена технологическая операция тренировки, при которой к секции подводят электрическое напряжение определенных значения и мощности. Операцию тренировки выполняют на специальных полуавтоматах после намотки и пропитки секций.

Если необходимо повысить рабочее напряжение металлобумажных конденсаторов, применяют дополнительную прокладку из одного или нескольких слоев конденсаторной бумаги. Однако следует отметить, что многослойные металлобумажные конденсаторы из-за увеличения общей толщины диэлектрика самовосстанавливаются хуже, чем однослойные.

Таблица 2. Характеристики металлобумажных конденсаторов

Тип	Интервал рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкф
МБМ	От –60 до +70	160	0,05–1
	От –60 до +100	250, 500, 750, 1000, 1500	1–0,0051
МБГЦ	От –60 до +70	200, 400, 630, 1000	1–0,047
МБГТ	От –60 до +100	160, 300, 500, 750, 1000	20–0,1
МБГО	От –60 до +70	160, 300, 400, 500, 630	30–0,25
К42У-2	От –60 до +100	160, 1600	0,0047–1
К42П-5	От –60 до + 60	40	0,01–30
К42У-6	От 0 до +35	100, 300	0,01–35

Другой особенностью металлобумажных конденсаторов является то, что намотка их секций из металлизированного диэлектрика подобна намотке секций бумажных конденсаторов с выступающей фольгой (безындукционная намотка), поэтому контактирование выводов к обкладкам осуществляют нанесением на торцы секций методом распыления металла контактных накладок, к которым затем припаивают проволочные выводы.

Металлобумажные конденсаторы также выпускаются цилиндрической (МБМ, МБГЦ, К42У-2) и прямоугольной (МБГП, МБГТ, МБГО) формы и применяются в тех же схемах, что и бумажные. Характеристики некоторых типов металлобумажных конденсаторов приведены в табл. 2.

§ 12. ПЛЕНОЧНЫЕ И МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Диэлектриком в пленочных и металлопленочных конденсаторах являются синтетические пленки. В качестве обкладок в секциях пленочных конденсаторов служит металлическая фольга, а в металлопленочных – нанесенный на пленку слой металла.

Пленочные конденсаторы выпускаются в металлических и пластмассовых корпусах прямоугольной и цилиндрической формы либо без корпусов, защищенные липкой лентой с уплотнением по торцам эпоксидными компаундами или "окукленные" (покрытые слоем порошка эпоксидных смол, который затем оплавляют и полимеризуют, или тиксотропным эпоксидным компаундом).

Внешние проволочные выводы пленочных конденсаторов могут быть ленточными, плющенными, неплющенными и спиральными. По способу закрепления в секции выводы могут быть закладными (вставляются в секцию между обкладкой и диэлектриком) или сварными (привариваются к обкладкам). Закладные выводы обычно бывают ленточными или плющенными. Неплющенные и спиральные выводы применяют в секциях, на торцы которых нанесен токопроводящий контактный слой.

Характеристики некоторых типов пленочных конденсаторов приведены в табл. 3.

Наиболее просты по конструкции и технологии изготовления полистирольные конденсаторы ПМ и К70-6.

Конденсаторы ПМ выпускаются двух типов: ПМ-1 – бескорпусные, открытого типа и ПМ-2, секции которых монтируются в алюминиевом корпусе.

Конденсаторы ПМ-1 и ПМ-2 могут работать при относительной влажности воздуха соответственно до 80 и 98%.

Таблица 3. **Характеристики пленочных конденсаторов**

Тип	Интервал рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкф
		Полистирольные	
ПО	От –40 до +70	315, 500	0,000051–0,03
ПОВ	От –40 до +70	1000, 1500	0,001–0,00039
ПМ-1, ПМ-2	От –60 до +70	63	0,0001–0,01
К70-6	От –60 до +85	35, 63	0,000022–0,1
МПО	От –60 до +60	250, 400, 600	0,1 –10
К71-6	От –60 до +85	200, 250, 300	0,00051–0,22
		Фторопластовые	
ФГТИ	От –60 до +155	От 2000 до 25 000	0,00047–0,1
ФТ	От –60 до +200	200, 600	0,00056–0,47
К72П	От –60 до +200	200, 500, 1000, 1600	0,00047–1
К72-9	От –60 до +200	200, 300, 500	0,01–2,2
		Полиэтилентерефталатные	
МПГП	От –60 до +85	100	5, 10, 15
К73П-2	От –60 до +125	400, 600, 1000	0,001–15
К73-9	От –60 до +100	100, 200, 400, 630	0,00047–0,47
К73-11	От –60 до +125	160, 250, 400	0,001–22
К73-13	От –60 до +70	1000, 2000	0,022
К73-21	От –60 до +100	50, 160, 250, 500	0,1–10
К73-24	От –60 до +100	100–250	0,001–6,8
К73-26	От –60 до +125	63, 100	15–150

Продолжение табл. 3

Тип	Интервал рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкф
К73-15	От –60 до +100	100, 160, 250, 400, 630	0,00047–0,47
К73-16	От –60 до +125	63–1600	0,0047–22
К73-17	От –60 до +125	63, 160, 250, 400, 630	0,01–4,7
		Комбинированные	
К75-15	От –60 до +100	3000–50 000	0,0051–10
К75П-4	От –60 до +100	250, 500, 750, 1000	0,022–1
К75-25	От –60 до +100	1000–50 000	0,001–2
К75-30	От –60 до +60	5000, 10 000, 20 000	0,47–2
К75-12	От –60 до +100	400, 630, 1000, 1600	0,0022–10
К75-10	От –60 до +100	250, 500, 750, 1000 (при 50 Гц)	0,1–10
К75-24	От –60 до +125	250, 400, 630, 1000, 1600	0,1–10
К75-40	От –60 до +70	750	20–100
К75-42	От –60 до +125	300–1600	0,0047–0,56
К75-45	От –60 до +70	2500–63 000	0,1–10
К75-47	От –60 до +85	2500–63 000	0,022–10
		Лакопленочные	
К76П-1	От –60 до +70	63	0,47–22
К76–3	От –60 до +85	250	0,1–10
К76-4	От –60 до +70	25	0,47–10
К76-5	От –60 до +70	25	0,47–10
		Поликарбонатные	
К77-1	От –60 до +125	63, 100, 200, 400	0,001–22
К77-2	От –60 до +100	63, 100	0,01–2,2
К77-4	От –60 до +100	160	0,1–15
		Полипропиленовые	
К78-2	От –60 до +85	300, 1000, 1500	0,01–0,15
К78-4	От –60 до +70	160, 250, 500	0,47–68
К78-6	От –60 до +100	250, 400, 630	0,001–10

В конденсаторах К70-6 (рис. 9), аналогичных по конструкции конденсаторам ПМ-1, в качестве диэлектрика применяется более тонкая пленка, что уменьшает их габариты и массу. Эти конденсаторы выпускаются на номинальное напряжение 35 и 63 В постоянного тока и могут работать в ин-

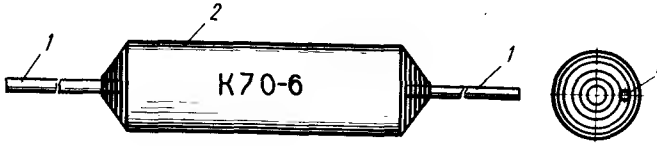


Рис. 9. Пленочный конденсатор К70-6:
1 – внешние выводы, *2* – секция

тервале температур от –60 до +85°С. Серия включает 45 типономиналов конденсаторов емкостью от 22 пФ до 0,1 мкФ таких же классов точности, как конденсаторы ПМ.

Для повышения теплостойкости полистирольных конденсаторов при намотке в секцию иногда вводят ленту из полиэтилентерефталатной пленки, которая должна находиться вне электрического поля. Для этого пленку металлизируют с двух сторон, чтобы ограничить ее деформацию при повышении температуры. Использование такой дополнительной обкладки повышает рабочую температуру полистирольных конденсаторов, но увеличивает их габариты.

Фторопластовые конденсаторы характеризуются высокими электрическими характеристиками в широком интервале частот и температур. Однако из-за низкой электрической прочности они не обладают достаточно высокими удельными характеристиками. Секции конденсаторов выполняют как фольговыми, так и с металлизированными алюминием обкладками. При металлизации пленку для повышения адгезионной способности предварительно электрофизически обрабатывают в коронном разряде.

Использование тонкого металлизированного слоя алюминия в качестве обкладок из-за плохой паяемости алюминия усложняет условия контактирования секций конденсаторов, предназначенных для работы при повышенной температуре. Для получения надежного контакта секции выполняют с комбинированной обкладкой: дополнительно к металлизированному слою по всей длине пропускают алюминиевую фольгу толщиной 5 мкм. Чтобы сохранялась способность самовосстановления, ширина фольги должна быть не больше половины ширины пленки и выходить за ее край для получения надежного переходного контакта с внешним выводом.

Поликарбонатные конденсаторы представляют собой сравнительно новый тип пленочных конденсаторов и обладают высокой температурной и временной стабильностью емкости, большой постоянной времени. В основном их выполняют из металлизированной алюминием пленки, которую предварительно до намотки секций подвергают электротренировке повышенным напряжением (на 20–30% выше рабочего). Секции этих конденсаторов имеют, как правило, цилиндрическую форму, обеспечивающую более линейную зависимость емкости от температуры и положительные значения ТКЕ во всем интервале рабочих температур. Герметизируют поликарбонатные конденсаторы в стальных корпусах со стеклопрессованными изоляторами или в алюминиевых корпусах с заливкой эпоксидным компаундом.

Самое широкое распространение получили конденсаторы К73-9, К73-16 и К73-17 из полиэтилентерефталатной (лавсановой) пленки, предназначенные для печатного монтажа.

Конденсаторы К73-9 – однослойные, с фольговыми обкладками, плоскопрессованные, с односторонним расположением выводов, "окукленные" эпоксидным компаундом. Конденсаторы К73-16 и К73-17 – однослойные, с металлизированными обкладками; конденсаторы К73-16 имеют алюминиевые цилиндрические корпуса с уплотненными торцами, а К73-17 плоскопрессованной формы с односторонним расположением выводов, "окукленные" эпоксидным компаундом.

§ 13. КОНДЕНСАТОРНАЯ БУМАГА

В производстве бумажных конденсаторов применяют специальную бумагу толщиной от 5–6 до 20–30 мкм, высокой плотности, с малым содержанием неорганических загрязнений. Бумага выпускается двух сортов по плотности: КОН-I (объемная масса 1 г/см^3) и КОН-II (объемная масса 1,2 г/см^3). Бумагу КОН-I и КОН-II соответственно применяют для конденсаторов переменного и постоянного напряжения. Временное сопротивление конденсаторной бумаги разрыву составляет до $(1–1{,}2) \cdot 10^5$ кПа. Пробивное напряжение непропитанной бумаги лежит в пределах от 30–35 до 45–50 кВ/мм (50 Гц), возрастая при увеличении плотности и уменьшении толщины. Конденсаторная бумага имеет малые воздухопроницаемость (ниже 2–3 см^3/мин) и зольность (0,2–0,3%). Суммарное содержание меди и железа в бумаге должно быть ниже 0,015% от массы сухой бумаги, а хлоридов и сульфатов – минимально. Бумага должна быть однородной и иметь минимальное количество структурных дефектов.

Структура конденсаторной бумаги по толщине – последовательные слои клетчатки (стенки волокна) и разделяющие их поры, расположенные параллельно плоскости листа. В непропитанной бумаге эти поры заполнены воздухом, а в конденсаторе – соответствующей пропиточной массой. При пропитке твердыми пропиточными массами, которые дают усадку при затвердевании, часть пор остается незаполненной, что снижает электрическую прочность бумаги.

Наличие токопроводящих частиц делает невозможным изготовление бумажных конденсаторов с одним слоем бумаги между фольговыми обкладками. Даже при небольших емкостях (порядка 0,1–0,2 мкФ) попадание проводящей частицы таких размеров достаточно для короткого замыкания обкладок. Поэтому при изготовлении бумажных радиоконденсаторов с обкладками из фольги применяют минимум два слоя бумаги.

При снижении толщины бумаги количество проводящих частиц, размеры которых соизмеримы с ее толщиной, резко возрастает. Число проводящих частиц примерно обратно пропорционально кубу толщины бумаги. Увеличение числа частиц повышает вероятность пробоя при большой площади обкладок и снижает среднее значение пробивного напряжения конденсатора.

При увеличении числа слоев резко снижается влияние проводящих частиц и возрастает пробивная напряженность бумажного конденсатора. В зависимости от емкости конденсаторной секции и толщины отдельного

слоя бумаги можно получить максимум пробивной напряженности при шести–восьми слоях бумаги. Дальнейшее увеличение оказывается неэффективным.

§ 14. ПЛЕНКИ

Развитие химии высокомолекулярных соединений вооружило конденсаторостроение новыми диэлектриками в виде пленок из различных полимерных материалов. Полимерные пленки более технологичны, чем бумага, и позволяют создавать конденсаторы, габаритные размеры которых меньше, чем у конденсаторов с бумажным диэлектриком. Полимерные пленки делятся на полярные и неполярные.

Неполярные пленки характеризуются относительно небольшой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 2 \div 2{,}7$), небольшим тангенсом угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta = (2 \div 6) \cdot 10^{-4}$), высоким удельным электрическим сопротивлением ($10^{17} - 10^{19}$ Ом · см), относительно небольшой механической прочностью (большим удлинением при растяжении), отрицательным значением ТКЕ и слабой зависимостью емкости и $\operatorname{tg}\delta$ от температуры и частоты.

Неполярными пленками являются полистирольная (стирофлекс), полиэтиленовая (политен), полипропиленовая (моплефан), политетрафторэтиленовая (фторопласт, тефлон), полипараксилиновая (парилен) и полифениленоксидная (ПФО, нирон, норил).

Полярные пленки в отличие от неполярных характеризуются повышенными диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 3 \div 3{,}7$) и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta = (40 \div 50) \cdot 10^{-4}$, который резко возрастает с увеличением частоты.

Полярными пленками являются полиэтилентерефталатная (ПЭТ-КЭ, лавсан, майлар, хостафан, мелинекс), поликарбонатная (макрофоль), полипиромеллитимидная (каптон), полиарилатная и триацетатная.

Наибольшее распространение в конденсаторостроении получили полистирольная, из фторопласта-4, лавсановая, поликарбонатная и полипропиленовая пленки.

§ 15. ПРОПИТОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В конденсаторостроении применяют жидкие и твердые пропиточные материалы. Основным преимуществом жидких пропиточных масс является полное заполнение всех пор в бумаге. В отличие от них твердые массы при застывании обладают усадкой и образуют остаточные газовые включения в диэлектрике конденсатора. Поэтому твердые пропиточные массы применяют при изготовлении низковольтных конденсаторов постоянного напряжения, а жидкие – высоковольтных, импульсных и др. Основное преимущество твердых пропиточных масс – возможность упрощения конструкции конденсаторов. Так как твердая масса не вытекает из конденсаторов, можно использовать их уплотненную конструкцию.

В производстве радиоконденсаторов обычно основными пропиточными материалами являются церезин (твердый материал) и конденсаторный вазелин (полужидкий материал), а также вазелиновые и конденсаторные масла (жидкие пропитывающие вещества).

Церезин относится к группе воскообразных веществ, которые в очищенном виде представляют собой твердые, сравнительно легкоплавкие вещества низкой механической прочности и малой гидроскопичности. Церезин – смесь углеводородов, получающихся в результате переработки и очистки от примесей озокерита или парафинистой нефти. Озокерит – продукт естественного перерождения нефти – имеет вид черной воскообразной массы. Церезин обладает более высокой температурой плавления, чем парафин. Молекулы церезина нейтральны, и он мало окисляется при нагревании. Благодаря более высокой температуре плавления и большой устойчивости к окислению церезин вытеснил парафин в конденсаторостроении.

Электрические свойства церезина достаточно высоки: диэлектрическая проницаемость 2,2–2,5 при 20°С и 1000 Гц, тангенс угла диэлектрических потерь 0,0003–0,0005, пробивная напряженность до 20–30 кВ/мм, удельное объемное сопротивление до 10^{16} Ом · см при 20°С.

Церезин вырабатывается нескольких марок; наиболее распространен церезин 80 (цифры означают температуру каплепадения). Основным недостатком церезина является его усадка, достигающая 15–20%. Применение церезина ограничивается также низкой температурой плавления (80°С).

В последнее время разработан способ получения синтетического церезина, представляющего собой один из побочных продуктов при выработке жидкого топлива из каменного угля. Синтетический церезин отличается большой чистотой и однородностью. Диэлектрические свойства его такие же, как и естественного, а температура плавления выше (до 100–105°С). Это делает синтетический церезин перспективным материалом.

Церезин применяют для пропитки слюдяных и металлобумажных конденсаторов. Для пропитки бумажных конденсаторов постоянного напряжения широко применяют конденсаторный вазелин.

Конденсаторный вазелин – мазеподобная смесь твердых и жидких углеводородов. Преимуществами вазелина являются его высокая электрическая прочность и стабильность электрических характеристик при изменениях температуры. Так, при 20°С электрическая прочность вазелина при частоте 50 Гц – не ниже 20 кВ/мм, тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1000 Гц – не более 0,0002, диэлектрическая проницаемость – от 2,1 до 2,2, удельное объемное сопротивление – не менее $5 \cdot 10^{14}$ и $5 \cdot 10^{11}$ Ом · см соответственно при 20 и 100°С.

В вазелине должны отсутствовать вода и механические примеси. Важной характеристикой вазелина является кислотность, которую необходимо проверять перед каждой пропиткой. Кислотность свежего вазелина должна быть не более 0,5 мгКОН/г. Повышенная кислотность вазелина резко ухудшает характеристики конденсаторов, в первую очередь сопротивление изоляции. Так как кислотность вазелина при длительном нагреве увеличивается, нагревать его без необходимости не следует.

Для пропитки низковольтных конденсаторов переменного напряжения, а также импульсных и высоковольтных (выше 1600 В) используют жидкие пропиточные массы: конденсаторное или вазелиновое масло и низкомолекулярный полиизобутиленоктол.

Конденсаторное масло — один из видов нефтяного масла, получаемого при перегонке нефти. По своему составу нефтяные масла — это смесь жидких углеродов. Электрические характеристики конденсаторного и вазелинового масла близки к характеристикам вазелина.

Октол представляет собой при нормальной температуре сильно вязкую бесцветную жидкость, обладающую высокими электрическими характеристиками, снижающимися при высокой температуре. Удельное объемное сопротивление октола при 100°С — не менее $3 \cdot 10^{14}$ Ом · см.

§ 16. ПРИПОИ И ФЛЮСЫ

Для соединения деталей конденсаторов в основном используют пайку, обеспечивающую электрический контакт, механическую прочность и герметичность соединения. При пайке используют припои и предварительно обрабатывают соединяемые детали флюсом.

Припои — это специальные сплавы различного состава, которые по температуре плавления разделяют на тугоплавкие (твердые) и легкоплавкие (мягкие). Тугоплавкие припои имеют температуру плавления выше 300°С; в производстве конденсаторов их обычно не применяют. Оловянно-свинцовые припои (ПОС), наиболее распространенные в производстве конденсаторов, относятся к группе легкоплавких.

Выбирают припой, исходя в каждом конкретном случае из его свойств, назначения шва и конструкции изделия. Припои ПОС61 и ПОС50 используют для ответственных паек, когда не допускается окисление шва и требуется хорошая электропроводность. Припои ПОС40 и ПОС30 применяют, если необходимо обеспечить достаточную прочность и герметичность шва (ПОС40 дает равномерно заполненные швы). Припой ПОС18 имеет более высокую температуру плавления, широкий температурный интервал кристаллизации, но дает менее прочный шов. Промышленностью выпускается лента и проволока из оловянно-свинцовых припоев, а также трубки из припоев, заполненные канифолью.

Флюсами являются вещества, улучшающие условия пайки. Флюсующие вещества должны улучшать условия смачивания металла припоем. Хорошее смачивание соединяемых металлических поверхностей возможно только в том случае, если они очищены от пыли, грязи, жировых загрязнений и оксидной пленки. Даже при тщательной очистке поверхностей, подлежащих пайке, обязательно остается тонкий слой оксидов и какие-либо загрязнения.

Флюс должен разрушать (растворять) тонкие пленки оксидов и загрязнения и не давать возможности образовываться оксидным пленкам в процессе пайки при нагреве металлических поверхностей до высоких температур. Флюс должен иметь более низкую температуру плавления, чем припой, быстро расплавляться при пайке и свободно затекать равномерным слоем в места пайки. В момент схватывания припоя с изделием флюс дол-

жен всплывать на поверхность припоя, чтобы не ослаблялась механическая прочность шва. Кроме того, флюс должен сохранять свои свойства и не изменять состав при пайке, не вызывать сильной коррозии паяного шва, не выделять при нагреве ядовитых газов.

Флюсующие вещества, применяемые при пайке легкоплавкими припоями, можно разделить на кислотные и бескислотные. Основным недостатком кислотных флюсов является то, что после пайки детали необходимо нейтрализовать в растворе едкого натра, а затем тщательно промывать в проточной воде, так как иначе происходит интенсивная коррозия паяного шва, что особо недопустимо в местах электрического контактирования. Поэтому кислотные флюсы, хотя они и весьма активны, в конденсаторостроении применяют только при пайке деталей, которые можно подвергать такой обработке (например, при пайке дна к корпусу, лужении обжимок и др.). При пайке легкоплавкими припоями на оловянно-свинцовой основе из кислотных флюсов широко применяют водный 40–48%-ный раствор хлористого цинка.

Большое распространение получили бескислотные флюсы на основе канифоли, остатки которых не вызывают коррозии мест пайки, не поглощают влаги и не проводят электрический ток. Так как канифоль относится к слабо активным флюсам, при ее применении место пайки следует тщательно очищать. Следует также избегать перегрева места пайки, так как канифоль легко обугливается и теряет свои флюсующие свойства. Поэтому желательно наносить канифоль непосредственно на место пайки, а не на паяльник.

Сосновая канифоль представляет собой хрупкую стеклообразную массу от желтого до темно-коричневого цвета. Высший сорт канифоли имеет температуру размягчения 68°С, первый сорт – 65°С и второй – 54°С. В конденсаторостроении применяют канифоль высшего и первого сортов. Для приготовления флюса канифоль размельчают до пудрообразного состояния и применяют в сухом виде или растворяют в спирте-ректификате, минеральном масле, глицерине и др.

§ 17. РЕЗКА БУМАГИ, ПЛЕНКИ И ФОЛЬГИ

Бумага, пленка и фольга обычно поставляются на заводы в рулонах шириной до 500 мм.

Для намотки секций бумажных или пленочных конденсаторов необходимо иметь рулоны фольги, бумаги и пленки, ширина которых указана в чертеже секции. Если ширина рулонов, поставляемых фабриками, соответствует указанному размеру, они идут прямо на намотку. В ином случае их разрезают. Рулоны фольги обычно предварительно подрезают с торца. Металлизированную конденсаторную бумагу и пленку также приходится разрезать на полосы нужной ширины.

Бумагу, пленку и фольгу разрезают дисковыми ножами на специальных станках, которые имеют различные схемы заправки (рис. 10). Принцип действия дисковых ножей показан на рис. 11. Бумага *2* проходит между нижним *1* и несколько находящим на него верхним *3* режущими дисками. Станок должен быть отрегулирован на резку бумаги нужного размера согласно технологической инструкции.

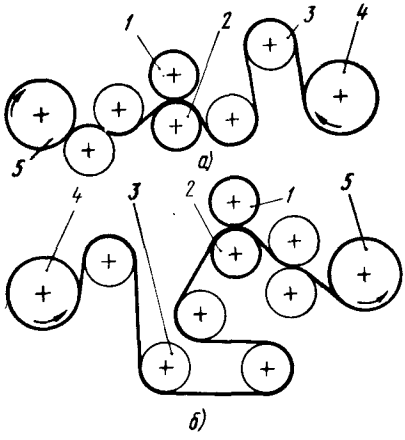


Рис. 10. Схема заправки бумаги на станках с тремя (*а*) и шестью (*б*) направляющими валиками:
1, 2 – верхний и нижний ножи, *3* – направляющий валик, *4, 5* – сматывающий и наматывающий валики

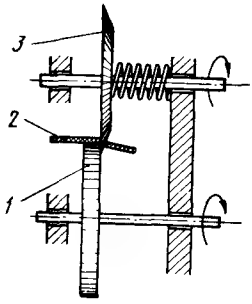


Рис. 11. Принцип действия дисковых ножей:
1, 3 – нижний и верхний ножи, *2* – разрезаемая бумага

Нарезанные листы наматываются на специальные металлические втулки, длина которых должна быть равна ширине наматываемой ленты. Число втулок должно соответствовать числу нарезаемых полос; торцы втулок должны быть чистыми, ровными, без забоин и деформаций. Подобранные втулки надевают на наматывающий валик без перекосов, иначе полотно ленты при намотке будет волнистым.

На сматывающий валик устанавливают рулон, подлежащий резке, и проверяют его радиальное биение и центричность установки. Затем вынимают верхний и нижний ножевые валы, устанавливают в порядке, указанном в инструкции, резательные дисковые ножи и промежуточные кольца и стягивают их гайкой от руки так, чтобы они могли слабо проворачиваться в сторону вращения, но не имели зазора вдоль оси. Слишком сильное затягивание гайки может вызвать искривление вала, а слишком слабое – привести к боковым колебаниям ножей. Предварительно дисковые ножи и промежуточные кольца очищают от пыли и масляных загрязнений.

На цапфы собранного вала нижних ножей надевают подшипники и с ними вставляют вал в пазы станины так, чтобы он не имел осевого смещения и мог свободно вращаться. Верхний вал с насаженными дисковыми ножами вставляют в станину так же и специальным винтом приподнимают его на несколько миллиметров, чтобы кромки ножей не касались поверхности нижнего вала. Ножи должны немного свободно перемещаться вдоль вала. Крепят вал зажимными мостиками.

Дисковые ножи верхнего вала устанавливают над серединами пазов нижнего вала, и верхний вал опускают с помощью винта таким образом, чтобы кромки верхних дисковых ножей заходили на 1,5–2 мм на нижние

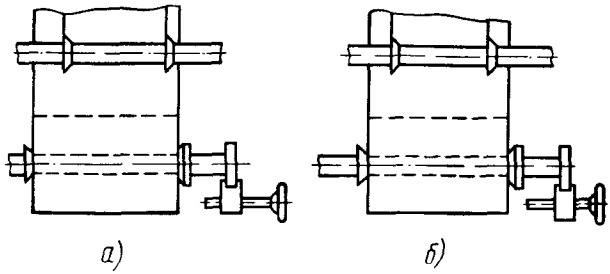


Рис. 12. Установка полотна бумаги:
а – бумажное полотно смещено в сторону, *б* – правильная установка полотна

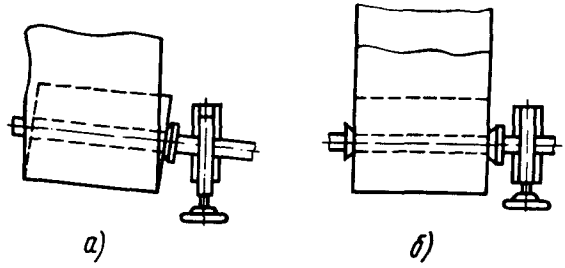


Рис. 13. Установка рулона бумаги:
а – неправильная, *б* – правильная

ножи. Осевым перемещением дисковые ножи верхнего вала устанавливают в положение резания. При установке ножей необходимо следить, чтобы они были зажаты не слишком сильно и не слишком слабо, так как и в том, и в другом случаях резка бумаги или пленки будет некачественной.

Когда все подготовительные операции закончены, следует проверить работу ножей. Для этого валы вручную приводят во вращение. Они должны вращаться легко и бесшумно. Края разреза пробной полосы бумаги или пленки должны быть ровными, без надрывов. Если полотно разрезано плохо, дефектные ножи следует заменить.

Для заправки станка одним-двумя оборотами винта приподнимают верхний вал дисковых ножей и вставляют полотно между направляющими валиками, а его конец прижимают к втулкам на наматывающем валике. Затем, вращая винт в противоположную сторону, устанавливают верхний вал в рабочее положение. На этом настройку станка считают законченной.

Скорость движения полотна бумаги или пленки можно изменять от 0 до 2,5–3 м/с регулировкой фрикционной передачи. С тонкой и механически непрочной бумагой или пленкой необходимо работать на меньших скоростях.

При работе на станке необходимо прежде всего правильно отрегулировать положение полотна (рис. 12,*а, б*). Для перемещения полотна вдоль оси наматывающего валика на сматывающем валике имеется маховичок боковой установки, а для его равномерного натяжения по ширине (для устранения складообразования) – маховичок продольной установки (рис. 13), которым можно перемещать одну сторону сматывающего валика (вместе с

рулоном бумаги) в направлении, перпендикулярном оси валика. Регулируют натяжение полотна бумаги или пленки ленточным тормозом. Если полотно рвется, необходимо ослабить нажим тормоза, а если делается волнистым и наматываемый рулон становится рыхлым следует усилить давление тормоза.

Дополнительным устройством для регулирования натяжения полотна и обеспечения плотности намотки рулона служит фрикционная муфта. Кроме того, большинство станков имеет противовес, соединенный рычагом с осью наматывающего валика, который в рабочем положении регулирует давление на наматываемый рулон. По мере возрастания диаметра рулона плечо противовеса нужно уменьшать. При достаточно плотной намотке поверхность рулона не вдавливается пальцем, а при ударе деревянной палочкой издает звонкий звук.

Отходы материала шириной меньше 10 мм, которые не поддаются намотке, удаляют со станка струей сжатого воздуха.

При обрыве одной из лент станок останавливают и склеивают ленту бакелитовым или цапонлаком. Клей наносят двумя равномерными полосами шириной примерно по 5 мм на расстоянии одна от другой около 20 мм. Склеивание выполняют по всей ширине ленты, но так, чтобы клей не выступал за пределы полос и соседние витки рулона не проклеивались. Необходимо правильно склеивать ленты, чтобы не было повторных обрывов. Пленку склеивают липкой лентой.

Металлизированную бумагу или пленку обычно режут посредине не покрытых металлом полос так, чтобы каждый рулон имел с одной стороны равномерную, не покрытую металлом закраину шириной (2,5 ±0,5) мм или (5 ±0,5) мм. Металлизированную бумагу необходимо тщательно оберегать от загрязнений, не прикасаться к торцам рулонов пальцами, чтобы не вызвать коррозию металлического слоя.

При резке могут возникнуть различные дефекты бумаги. Если режущие кромки нижних ножей имеют боковые колебания, торцевая поверхность их загрязнена или они слабо закреплены, может получиться волнистый разрез, неравномерная ширина полос, неравные боковые поверхности или сцепление разрезанных рулонов. При этом следует тщательно перебрать вал нижних ножей, очистить торцевые плоскости ножей и колец от пыли, масла и других загрязнений. Если ножи тупые или повреждены, могут получиться надрывы бумаги и шероховатость краев. Для устранения этих дефектов следует заменить ножи, отправив неисправные на переточку. Ножи направляют на переточку полным набором, иначе трудно обеспечить правильную установку их на станке.

Когда скорость резания велика и тормоз на валу сматываемого рулона затянут слишком туго, бумажная лента может оборваться. За этим надо следить, регулируя скорость резания и вовремя ослабляя затяжку тормоза.

В процессе резки необходимо периодически проверять штангенциркулем ширину рулона бумаги и визуально контролировать качество резки, а при резке металлизированной бумаги следить за шириной и равномерностью неметаллизированных закраин. После снятия разрезанных рулонов со станка проверяют штангенциркулем ширину каждого рулона, плотность его намотки и качество резки. Качественно разрезанный рулон бумаги не

должен иметь надрывов, забоин и волнистости на торцах; его снабжают паспортом и передают на следующую операцию.

Рулоны разрезанной бумаги и пленки, как и неразрезанной, хранят на специальных стеллажах, а металлизированную бумагу – в шкафах с силикагелевым поглотителем влаги.

Необходимо следить за чистотой в помещении, все отходы бумаги складывать в периодически очищаемый железный ящик для мусора. При работе на станке нужно соблюдать осторожность: не касаться ножей, не протирать вращающиеся валы тряпкой и др.

Во время резки следует правильно выбирать ширину получаемых полос в зависимости от ширины исходного рулона и возможности использования полученных лент в производстве. Необходимые соотношения ширины исходного рулона и получаемых полос обычно приведены в таблицах технологической инструкции на операцию резки. Резка по раскрою, не предусмотренному таблицами, увеличивает отходы разрезаемого материала, т.е. экономически невыгодна, поэтому выполнять ее категорически запрещается.

Аналогично режут медную фольгу для выводов конденсаторов, алюминиевую фольгу для обкладок и кабельную бумагу.

§ 18. ЛАКИРОВКА БУМАГИ

В производстве металлобумажных конденсаторов, секции которых наматываются из одного слоя металлизированной бумаги (однослойные секции), бумагу предварительно лакируют и металлизируют. Для многослойных конденсаторов эта операция не требуется. Наносимый на поверхность бумаги слой этилцеллюлозного лака должен иметь толщину 0,8–1,2 мкм. Слой лака изолирует токопроводящие включения и другие дефекты бумаги и исключает образование сквозных металлических мостиков при металлизации, что улучшает сопротивление изоляции и электрическую прочность бумаги. Кроме того, лак, изолируя бумагу от металлического слоя, предохраняет металл от коррозионного разрушения, которое может быть вызвано действием некоторых электролитических примесей (хлоридов, сульфидов и др.), содержащихся в бумаге.

Этилцеллюлозный лак, применяемый для лакировки конденсаторной бумаги, представляет собой раствор этилцеллюлозы (от 6 до 9%) в растворителе, состоящем из 40% спирта-ректификата и 60% толуола. Чтобы облегчить контроль равномерности покрытия, в лак добавляют краситель – метилвиолет (0,3 г на 1 кг лака). Так как материалы для приготовления лака должны содержать минимальные количества воды, посторонних механических и химических примесей, ухудшающих свойства металлизированной бумаги и изготовляемых из нее конденсаторов, их подвергают лабораторному анализу.

Продолжительное хранение этилцеллюлозного лака, особенно в негерметичной таре, ухудшает его свойства и увеличивает вязкость. Лак приготовляют в таком количестве, чтобы его можно было использовать в течение одного – трех дней. Ежесуточный расход лака значительный, поэтому его изготовляют централизованно на специальном участке и в специализирован-

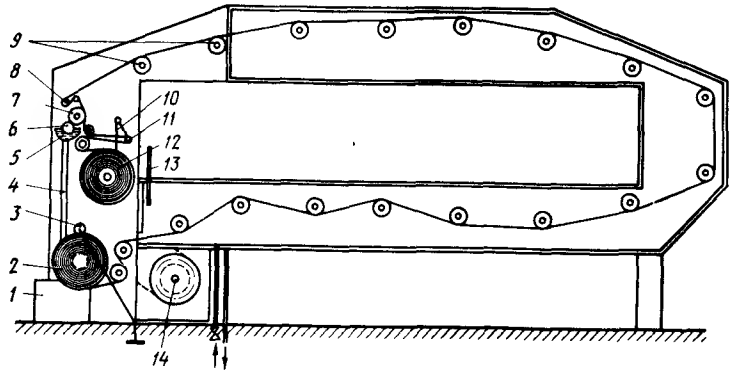


Рис. 14. Лакировочная машина:
1 – резервуар с лаком, *2, 12* – рулоны лакированной и нелакированной бумаги, *3* – валик снятия электростатического заряда, *4* – труба, *5* – ванночка с лаком, *6, 7* – переносящий и лакирующий валики, *8* – разглаживающий стержень, *9, 11* – направляющие и натяжной валики, *10* – тормозящая лента, *13* – термометр, *14* – электродвигатель

ных баках, а затем насосами перекачивают по системе трубопроводов к лакировочным машинам.

Наносят лак на бумагу на лакировочной машине (рис. 14). Бумажная лента от рулона *12* нелакированной бумаги, проходя через систему натяжных валиков *11*, касается лакирующего валика *7*, на который переносящим валиком *6* из ванночки *5* подается этилцеллюлозный лак. В ванночку лак перекачивается насосом по трубе *4* из резервуара. Равномерное натяжение и плавное раскручивание рулона *12* обеспечивается специальной тормозящей лентой *10*. Далее бумага проходит по разглаживающему стержню *8*, который равномерно распределяет слой лака на ее поверхности, и системой направляющих валиков *9* передается в сушильную камеру, обогреваемую паром. При выходе из камеры лакированная бумага наматывается в рулон *2*. Валик *3* служит для снятия с рулона электростатического заряда, который может образоваться при движении бумажной ленты.

Толщина лакового покрытия определяется зазором между лакирующим валиком и валиком, подающим лак. Зазор устанавливают специальным щупом. Оптимальный зазор 70–80 мкм. Качество лакового покрытия зависит от скорости перемещения бумажной ленты и температуры сушки лакового слоя.

Лаковый слой сушат при температуре на выходе из камеры 105–125 °С. Если температура ниже (допускается до 70 °С), необходимо уменьшить скорость перемещения бумажной ленты и следить, чтобы она не сминалась при намотке в рулон. Если температура сушки высокая, растворитель интенсивно улетучивается и получается неровная пузырчатая лакированная поверхность. Температуру на выходе из камеры контролируют термометром.

При лакировке постоянно проверяют толщину и равномерность наносимого покрытия и плотность намотки рулона, а также следят, чтобы на поверхности бумаги не образовывались складки и морщины. Начиная ла-

кировку или при изменении режима проверяют качество сушки лакового слоя и слипаемость слоев бумаги. Для некоторых конденсаторов бумагу лакируют с двух сторон. Двустороннюю лакировку выполняют так же, как одностороннюю.

Лакированную бумагу для металлобумажных конденсаторов сушат непосредственно перед металлизацией, чтобы максимально удалить пары воды и остатки растворителя, обеспечить достаточно высокий вакуум в процессе металлизации и уменьшить коррозию металлического слоя. Предварительно бумагу подсушивают 24–26 ч в термостате при $(100 \pm 5)\,^{\circ}C$, а затем 20–28 ч сушат в вакууме при 90–110 °С и остаточном давлении не выше $6 \cdot 10^{22}$ Па.

§ 19. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ БУМАГИ И ПЛЕНОК

Секции металлобумажных и металлопленочных конденсаторов наматывают из бумаги или пленки с предварительно нанесенным методом испарения в вакууме слоем металла (в большинстве случаев цинка или алюминия). Вакуум создают, чтобы интенсифицировать испарение металла и его адгезию к бумаге (пленке).

Схема технологического процесса металлизации бумаги (пленки) показана на рис. 15. Подлежащая металлизации бумага *2* сматывается с рулона *1* и, проходя барабан *3*, служащий для ее охлаждения и предохранения от сгорания при осаждении паров металла, наматывается на рулон *4*. Под барабаном *3* расположен испаритель *6*, из которого постоянно и равномерно испаряется и осаждается на бумагу в виде металлической пленки алюминий *7* (или цинк).

Для повышения производительности установок металлизируют бумагу (пленку) в рулонах шириной, кратной нескольким ширинам секции. Затем металлизированную бумагу (пленку) режут роликовыми ножами на ленты необходимой ширины.

Так как бумага при намотке секций должна иметь закраину (неметаллизированную полоску), слой металлизации наносят не по всей ширине, а полосами (рис. 16). Для получения неметаллизированных полос на бумагу при прохождении ее над испарителем накладывают механические или масляные экраны. Механические экраны выполняют из резины или полиамидной пленки в виде кольца большого диаметра. При прохождении бумаги над испарителем такие экраны специальными роликами прижимаются к ней, а затем отнимаются. В некоторых установках используют масляные экраны. В этом случае между сматываемым рулоном и барабаном охлаждения устанавливают специальные фильеры, через которые на бумаге вдоль нее наносится тонкий слой масла необходимой ширины. Так как пары металла на масло не осаждаются, вдоль всего рулона бумаги (пленки) остаются чистые неметаллизированные полосы, соответствующие двойной ширине закраины.

Для металлизации бумаги (пленки) применяют специальные установки. Так, на установке 01НР5 алюминий наносят на бумагу (пленку), смотанную в рулон шириной до 300 мм и диаметром до 250 мм. Скорость перемещения бумажной ленты регулируется до 6 м/с. Предельное давление в камере не более $6{,}6 \cdot 10^{-3}$ Па.

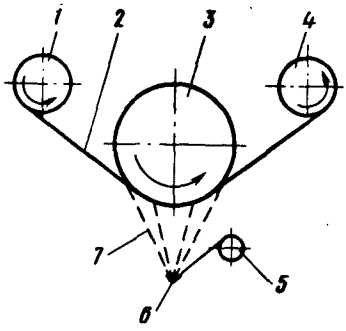


Рис. 15. Схема технологического процесса металлизации бумаги (пленки):
1 – рулон смотки, *2* – бумага (пленка), *3* – барабан охлаждения, *4* – рулон намотки металлизированной бумаги (пленки), *5* – механизм подачи алюминиевой (цинковой) проволоки на испаритель, *6* – испаритель, *7* – пары осаждаемого металла

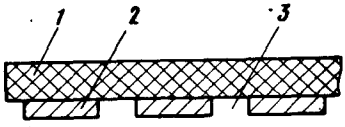


Рис. 16. Поперечный разрез металлизированной бумаги (пленки):
1 – бумага (пленка), *2* – слой металла, *3* – экранированные полосы бумаги (пленки)

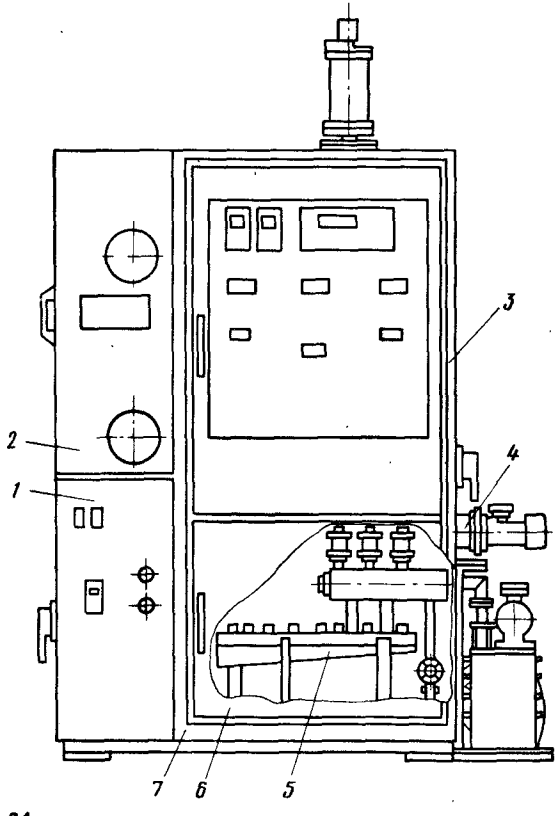


Рис. 17. Установка металлизации бумаги (пленки) алюминием:
1 – станина, *2* – камера, *3* – шкаф, *4* – вакуумный агрегат, *5* – система охлаждения, *6*, *7* – дверцы

Установка (рис. 17) состоит из камеры *2* из нержавеющей стали, служащей для ограничения объема, в котором протекает рабочий процесс. Камера установлена на станине *1*, на которой размещены также электрооборудование, плита и потенциометры регулировки скорости подачи ленты, проволоки и натяжения ленты. Кроме того, в установке имеется шкаф *3*, закрывающийся дверцами *6* и *7*, в котором установлены вакуумный агрегат *4*, пневматическая система, система охлаждения *5* и смазывания приводов. На дверце *7* смонтирован пульт управления. Вакуумный агрегат *4* состоит из ротационного АВР-150, бустерного НВБМ-0,5 и диффузионного паромасляного Н-400/7000 насосов, поддерживающих вакуум в рабочей камере.

Ротационный насос АВР-150 предназначен для предварительной откачки камеры до давления 13,3 Па. Для окончательной откачки до давления не более $2{,}6 \cdot 10^{-4}$ Па служит насос Н-400/7000.

Внутри камеры (рис. 18) установлены механизм подачи проволоки на испаритель, перемоточный и лентопротяжный механизмы, а также испарители, которые управляются автоматической системой.

Ролики *16* механизма подачи протягивают проволоку *19* с катушки *20* через направляющие ролики *18* в пазы *17* и *15*, а затем в трубку *14* до контактов с испарителем *13*. Так как ширина бумаги 300 мм, а факел испаряемого металла 80–90 мм, чтобы обеспечить равномерный металлизированный слой по всей ширине бумаги, на одинаковом расстоянии друг от друга устанавливают четыре испарителя. Все механизмы электроизолируют, так как в месте касания проволоки с испарителем возникает электрическая дуга, которая разбрызгивает алюминий.

Перемоточный механизм предназначен для размотки рулона бумаги (пленки), подачи ее в зону металлизации над испарителем и намотки ме-

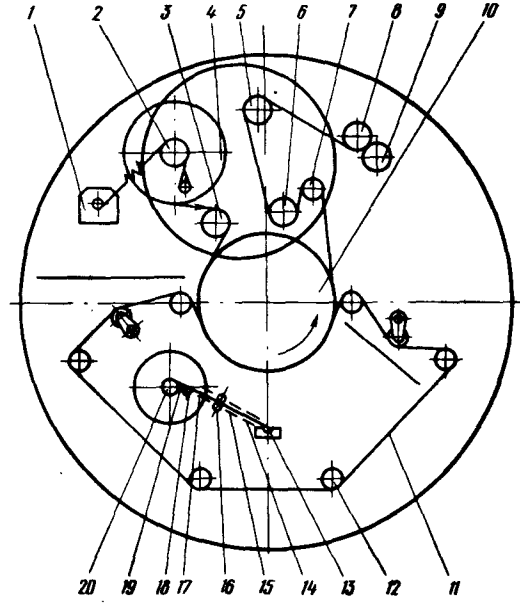


Рис. 18. Расположение механизмов внутри рабочей камеры:
1 – устройство торможения, *2, 9* – оправки смотки и намотки, *3, 7, 8* – разглаживающие валики, *4* – рулон бумаги (пленки), *5, 6* – измерительные ролики, *10* – барабан, *11* – экранирующая лента из полиамидной пленки, *12* – направляющие ролики экрана, *13* – испаритель, *14* – направляющая трубка, *15, 17* – направляющие пазы, *16* – ролики механизма подачи, *18* – направляющие ролики, *19* – проволока, *20* – катушка

таллизированной бумаги на оправку. Измерительные ролики *5* и *6* служат для замера электропроводности напыленного слоя.

Лентопротяжный механизм служит для получения неметаллизированных полос (экранов) на бумаге (пленке) наложением на нее ленточных экранов при прохождении над испарителями. Склеенная в кольцо экранирующая лента *11* из полиамидной пленки проходит под барабаном *10*, на который через систему роликов *12* натянута бумага, прижимается к нему и отходит после прохождения.

Установка работает в такой последовательности. Запускают для разогрева вакуумную систему, после чего разгерметизируют рабочую камеру, загружают рулон и устанавливают катушку с проволокой в контактную группу. Затем герметизируют и откачивают камеру до рабочего давления, проводят технологический процесс напыления, перекрывают вакуумную систему, отключают испаритель, разгерметизируют камеру и выгружают рулон металлизированного материала. После этого процесс повторяют.

Толщину наносимого слоя контролируют по его электропроводности на участке между контрольными роликами. Если необходимо, толщину слоя изменяют, регулируя скорость перемотки бумаги: чем выше скорость, тем меньшее количество металла конденсируется на поверхности бумаги при прохождении ее над испарителями.

Тонкий слой металла осаждается либо в результате низкой силы тока, проходящего через нагреватели-испарители (вследствие чего испаряется мало металла), либо из-за большой скорости перемотки. Тонкий окисленный слой металла (матовость), имеющий низкую электропроводность, образуется при испарении в недостаточном вакууме, причинами чего являются плохая сушка бумаги, течь в вакуумной камере или вакуумной системе. Неравномерный слой металла обычно осаждается при недостаточном вакууме в системе или при образовании шлаков на поверхности испарителя.

§ 20. НАМОТКА СЕКЦИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БУМАЖНЫХ, МЕТАЛЛОБУМАЖНЫХ, ПЛЕНОЧНЫХ И МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Одной из основных операций технологического процесса изготовления конденсаторов с органическим диэлектриком является намотка секций. Намоткой на специальных станках изготовляют секции бумажных, металлобумажных, пленочных и металлопленочных конденсаторов.

Выбирают тип намоточного станка в зависимости от материала (бумага, пленка, фольга и др.) и конструкции конденсаторной секции. Намоточные станки подразделяют на ручные, полуавтоматические и автоматические.

Намоточный станок (рис. 19) выполнен в виде литой или сварной станины, на которой укреплены рулоны конденсаторной бумаги *4* и фольги *5*. Сматываемые с рулонов ленты проходят по направляющим *3* и прижимным *2* роликам и наматываются на цилиндрическую оправку *1*, укрепленную на шпинделе станка, который приводится во вращение вручную или от электродвигателя. Частоту вращения шпинделя можно изменять. После намотки необходимого количества витков, отсчитываемого счетчиком, станок останавливается вручную выключателем или автоматически.

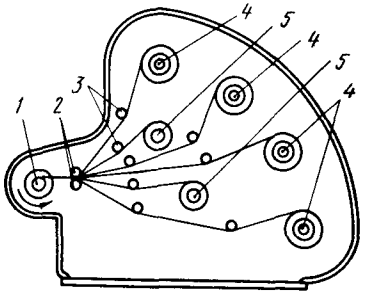


Рис. 19. Схема станка для намотки секций бумажных конденсаторов: *1* – оправка, *2, 3* – прижимные и направляющие ролики, *4, 5* – рулоны конденсаторной бумаги и фольги

После остановки станка ленты фольги, бумаги или другого материала обрезают между прижимающими роликами и оправкой и снимают намотанную секцию с оправки. Предварительно последний виток закрепляют, надев на него резиновое кольцо, либо приклеивают или приваривают.

На ручных намоточных станках наматывают конденсаторные секции с небольшим количеством витков, а на полуавтоматах или автоматах с большим количеством. При намотке секций на автомате необходимо:

установить в зависимости от схемы намотки необходимое количество бобин фольги и диэлектрика;

выровнять бобины, так чтобы края всех лент диэлектрика лежали в одной плоскости, а края обкладок были смещены по отношению к ним на размер, указанный в технологической карте;

установить на счетчике необходимую длину намотки обкладок;

заправить ленты фольги и диэлектрика в направляющие и подающие устройства;

выполнить пробный пуск автомата и оценить качество намотанной секции;

подстроить отдельные элементы автомата и запустить его в работу.

После этого заправка, намотка и отсчет длины обкладок, а также сброс намотанных секций происходят автоматически.

Поскольку намотка является операцией, при которой формируется основной элемент конденсатора – секция, при ее выполнении необходимо строго соблюдать правила производственной гигиены. Нужно следить, чтобы внутрь секций не попадала пыль или грязь. Помещение участка, оборудование и приспособления должны содержаться в чистоте. Необходимо также следить за чистотой рабочих мест, а также одежды и рук. Направляющие ролики станков надо периодически протирать миткалем (или марлей), смоченным растворителем.

При намотке секций конденсаторов основными видами дефектов являются: обрыв лент диэлектрика или обкладок, большое смещение лент по ширине из-за неправильного расположения сматываемых бобин диэлектрика или обкладок; большее или меньшее количество витков в бумажных или металлобумажных секциях из-за плохой регулировки счетчика витков; отклонение емкости секций сверх допустимой вследствие намотки различного количества витков из-за плохой настройки измерительных приборов; образование поперечных или продольных складок из-за неточной регулировки устройств натяжения лент или непараллельности направляющих ро-

ликов; попадание пыли и загрязнений между лентами и обкладками. Смещение лент, складки и загрязнения снижают электрическую прочность конденсаторов, в результате чего их бракуют.

Рассмотрим конструкции секций различных конденсаторов, изготовляемых намоткой.

Намотка бумажных конденсаторов. В качестве обкладок секций бумажных конденсаторов используют алюминиевую рулонную фольгу, а в качестве диэлектрика – конденсаторную бумагу КОН-II (толщиной 6–12 мкм). Обычно число слоев конденсаторной бумаги не бывает меньше двух. При использовании одного слоя бумаги из-за дефектов в ней вероятность пробоя или замыкания обкладок конденсаторов достаточно велика. Однако более шести слоев бумаги не применяют.

Натяжение бумажных лент $(1{,}9 \div 4{,}9) \cdot 10^2$ кПа на 10 мм ширины ленты регулируют тормозным устройством (чаще всего ленточным тормозом), на осях которого размещают рулоны. Большинство современных полуавтоматических намоточных станков снабжено счетчиками количества витков, которые связаны с выключающими механизмами, останавливающими станок после намотки определенного числа витков.

Рассмотрим один из разработанных в последнее время специализированных автоматов намотки.

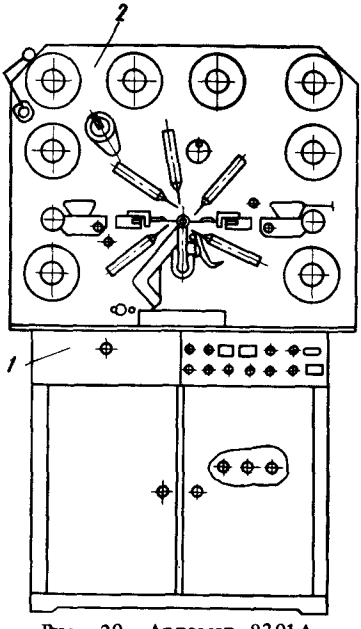


Рис. 20. Автомат 8301А намотки бумажных конденсаторов:
1 – станина, *2* – операционная головка

Автомат 8301А (рис. 20) предназначен для намотки секций бумажных конденсаторов КБГ-И, К40П-2 и К40-14 с вкладными выводами из металлической фольги и скрытыми лентами обкладок (ширина диэлектрика от 8 до 24 мм), а также безындукционных секций конденсаторов БМ-2, БМТ-2 и аналогичных типов. Автомат снабжен устройствами автоматического останова при обрыве лент бумаги (или фольги), незаправке одной из лент на оправку и превышении диаметра секции.

Секции конденсаторов наматываются на автомате из нескольких лент бумаги и алюминиевой фольги, поступающих с рулонов на оправку в виде двух полуцилиндров. При автоматической заправке (рис. 21) ленты бумаги и фольги протягиваются с рулонов *2* через натяжные *5* и направляющие *6* ролики, губки и лентозаправочные механизмы *8* на оправку *1*. После включения автомата начинает вращаться вал намоточного механизма с оправкой *1* и приходит в движение привод лентозаправочных механизмов *8*. Верхняя часть сомкнутой до этого оправки смещается в продольном направлении по отношению к нижней, к которой подходят губки лентозаправочного

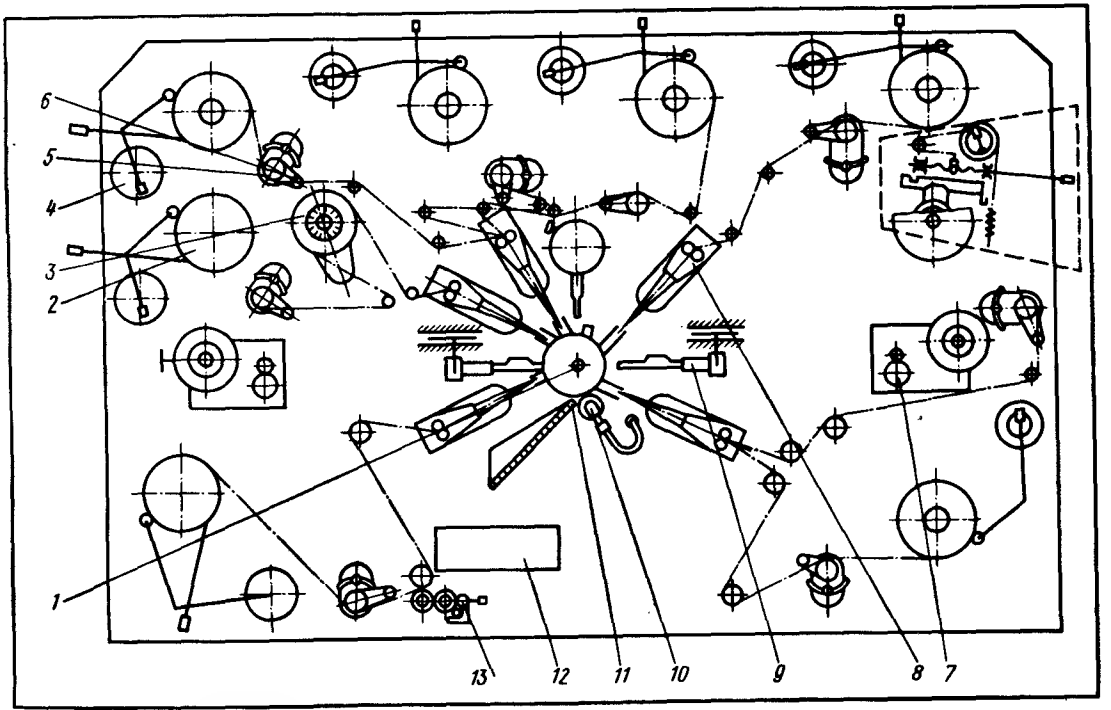


Рис. 21. Кинематическая схема операционной головки автомата 8301А:
1 – оправка, *2* – рулон, *3* – программное устройство, *4* – тормозное устройство, *5* – натяжные ролики, *7, 13* – резательный и маркировочный аппараты, *8* – лентозаправочный механизм, *9* – механизм подачи выводов, *10* – клеевая головка, *11* – лоток, *12* – бункер

механизма с выступающим из них концом ленты бумаги. Затем на бумагу надвигается верхняя часть оправки и в конце хода обе ее части соединяются в "замок", зажимая ленту бумаги.

После того как вал с оправкой сделает несколько оборотов, последовательно заправляются остальные ленты бумаги и фольги при подаче их концов в угол, образованный оправкой и наматываемой на нее лентой. При заправке вал с оправкой вращается с пониженной частотой, а затем программным устройством включается повышенная частота вращения. При намотке специальный механизм по сигналу программного устройства автоматически закладывает в смежные углы наматываемой секции два фольговых вывода.

Перед окончанием намотки включается маркировочный аппарат *13*, который наносит оттиск на одну из лент бумаги. По окончании намотки секции все ленты, кроме последней бумажной, отрезаются резательным аппаратом *7*. Из последней ленты бумаги наматывается необходимое количество холостых витков, а затем она отрезается. Одновременно к секции подводится головка *10*, смазывающая отрезанный конец клеем.

Готовая секция снимается с оправки при выходе ее за пределы торцов втулок съемников и по лотку *11* подается в бункер *12*. В то же время манипуляторы механизмов подачи выводов поворачиваются к резательным аппаратам, захватывают губками и зажимают концы лент фольги и остаются в таком положении до начала следующего цикла, который начинается после заклейки секции.

Для намотки безындукционных секций конденсаторов (БМ-2, БМТ-2), которая выполняется аналогично, необходимо отключить приводы механизмов подачи выводов и резательных аппаратов.

Намотка металлобумажных конденсаторов. Секции металлобумажных конденсаторов шириной до 45 мм наматывают только на автоматах, до 150 мм – на полуавтоматах, а свыше 150 мм и специального назначения – на ручных станках. Особенностью намотки металлобумажных секций является отсутствие вкладных фольговых контактов. Применение их недопустимо, так как под относительно толстыми фольговыми контактами не происходит самовосстановление электрической прочности после пробоя. Поэтому выполняют безындукционную намотку.

Наматывают секции из двух металлизированных с одной стороны лент бумаги, между которыми иногда в зависимости от рабочего напряжения (на которое рассчитана секция) пропускают несколько лент обычной конденсаторной бумаги. Реже намотку выполняют из бумаги, металлизированной с двух сторон.

Намотка пленочных и металлопленочных конденсаторов. Намотка секций этих конденсаторов аналогична рассмотренной, однако имеет ряд особенностей. Ленты пленочного диэлектрика из-за высокого поверхностного сопротивления легко наэлектризовываются при намотке, долго держат поверхностный заряд и притягивают пыль. Поэтому необходимо принимать меры, препятствующие попаданию пыли на поверхность пленки, а также использовать при намотке специальные устройства для снятия зарядов статического электричества (рис. 22). Принцип действия этого устройства состоит в том, что, создавая ионизацию воздуха у поверхности пленки повышен-

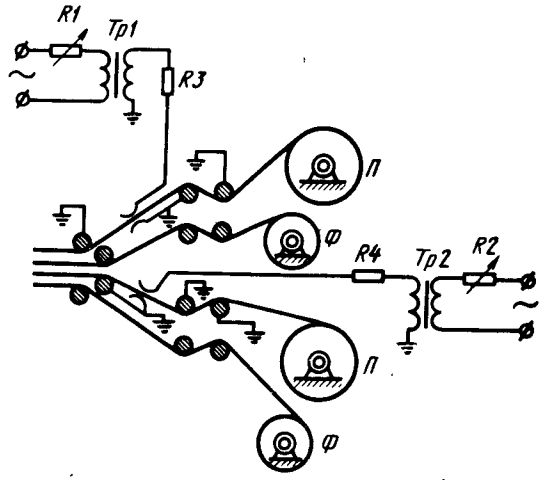


Рис. 22. Принцип действия устройства для снятия статических зарядов:
Ф – рулоны фольги, *П* – рулоны пленки, *R1* и *R2* – регулирующие резисторы, *Тр1* и *Тр2* – повышающие трансформаторы, *R3* и *R4* – нагрузочные резисторы

ным до 10 кВ напряжением (трансформаторы *Тр1* и *Тр2*), можно вызвать стекание с нее поверхностных зарядов.

В последнее время получил распространение простой в изготовлении игольчатый ионизатор, который обеспечивает полную нейтрализацию статических зарядов и безопасен в работе. Лучшую нейтрализацию получают, помещая на специальный электрод большое количество (25–30 шт.) игл длиной 8–10 мм с радиусом острия 50–70 мкм, которые размещают на расстоянии 5–6 мм друг от друга. Для обеспечения безопасности работы во вторичную цепь повышающего трансформатора включают защитное сопротивление порядка 10^7 Ом в виде резисторов ВС-5.

Перед намоткой необходимо внимательно изучить чертеж секции и технологическую карту, в которых указаны тип конденсатора, его емкость и рабочее напряжение, размеры секции, схема намотки, длина обкладок, количество слоев диэлектрика, толщина и ширина его лент и лент обкладок, размер выхода фольги за край диэлектрика в зависимости от схемы намотки и расположение закладных выводов, если они есть. Кроме того, оператор вместе с наладчиком должен настроить оборудование в соответствии с технологической картой, выполнить пробную намотку секции и, проверив качество, предъявить ее мастеру. После дополнительного инструктажа об особенностях намотки, сделанного мастером, можно приступить к выполнению операции.

§ 21. ОПРЕССОВКА СЕКЦИЙ

Намотанные секции бумажных, металлобумажных и пленочных конденсаторов перед сборкой в корпус в большинстве случаев поступают на дополнительную операцию, завершающую их оформление, – опрессовку.

Опрессовывают секции в специальных приспособлениях, называемых струбцинами (рис. 23), которые состоят из стойки *1*, пластин *2*, отделяющих ряды секций *5* один от другого, прижимной планки *3* и фиксирующих гаек *4*. Все детали струбцины, соприкасающиеся с секциями, должны иметь ровную и чистую поверхность.

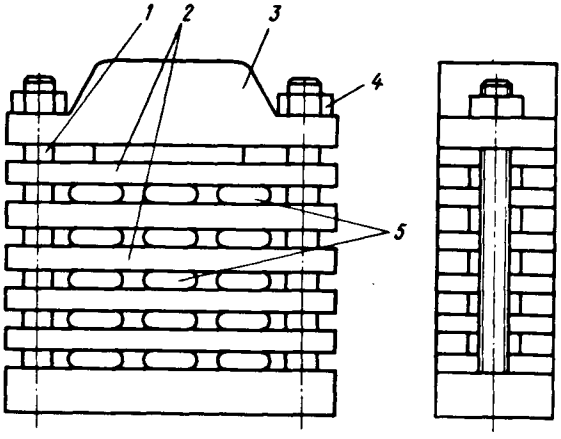


Рис. 23. Струбцина с опрессованными секциями: *1* – стойка, *2* – пластины, *3* – прижимная планка, *4* – гайка, *5* – секция

Первый ряд секций аккуратно укладывают на дно струбцины выводами навстречу друг другу. Взаимное расположение выводов секций должно соответствовать чертежу и они не должны быть на изгибах (в углах) секций. На первый ряд секций сверху укладывают промежуточную металлическую пластину, а затем – следующий ряд и так до заполнения всей струбцины. Количество секций во всех рядах должно быть одинаковым и соответствовать указаниям инструкции. В зависимости от типа и габаритов в струбцину укладывают от 8 до 30 секций.

Верхний ряд секций в струбцине закрывают предохранительной пластиной, под которую укладывают паспорт с указанием их типономинала, количества в струбцине, даты опрессовки и фамилии рабочего. Уложенные между пластинами секции выравнивают так, чтобы они были расположены одна под другой на равных расстояниях от краев пластин (сдвиг не должен превышать 2–5 мм). Затем секции легко сжимают, навертывают рукой гайку, устанавливают струбцину на стол пресса и опрессовывают определенным давлением $(1{,}5 \div 4{,}9) \cdot 10^2$ кПа, которое зависит от типа и размеров секций. По мере подачи давления гайку навертывают до плотного соприкосновения с предохранительной пластиной струбцины. Когда гайка навернута до отказа, давление снимают и вынимают струбцину из пресса.

В зависимости от типа секций их выдерживают в струбцинах в течение 6–20 ч. Иногда, чтобы повысить процент попадания секций в заданный номинал, при укладке в струбцины закладывают четыре-пять контрольных секций выводами наружу. К этим выводам при опрессовке поочередно подключают прибор для измерения емкости и, определяя по его показаниям среднее ее значение, плавно увеличивают давление до тех пор, пока емкость не станет равной (80 ±2)% от номинальной.

Конденсаторные секции, предварительно пропитанные в церезине, иногда опрессовывают в два приема. Вначале опрессовку выполняют при низком давлении, затем производят атмосферную сушку, а далее – опрессовку при нормальном для данного типа секций давлении. Это повышает удельную емкость секций.

§ 22. СУШКА И ПРОПИТКА СЕКЦИЙ

Секции бумажных, металлобумажных и некоторых типов пленочных конденсаторов сушат и пропитывают. Операции вакуумной сушки и пропитки предназначены для удаления влаги и воздуха из секции, пакета или собранного готового конденсатора и заполнения этого объема пропиточной массой. При нормальных условиях в бумаге содержится до 15% по массе влаги и до 20–35% по объему воздуха. Эти операции повышают удельную емкость и электрическую прочность конденсаторов.

Вакуумная сушка и пропитка занимают большую часть времени технологического процесса (до 80%) и являются очень ответственными этапами производства конденсаторов, определяющими качество и надежность их работы. При пропитке секций пространство между обкладками и структура бумаги заполняются соответствующим пропитывающим составом.

Наиболее полные и сложные процессы сушки и пропитки выполняют при обработке секций бумажных конденсаторов, которые предварительно термообрабатывают: сушат на воздухе при 100–135°С не менее 16–18 ч, в вакууме при температуре не более 140°С и давлении не ниже 1,33 Па, а затем при этом же режиме пропитывают в течение 2–3 ч.

Для атмосферной и вауумной сушки, а также вакуумной пропитки секций бумажных конденсаторов используют различное оборудование. Так, атмосферную сушку выполняют в термошкафах, а вакуумную сушку и пропитку – в баковых установках периодического действия.

Термошкафы имеют паро- или электроподогрев и внутри разделены на секции, в которые загружают конденсаторы в специальных металлических ящиках.

Пропиточные установки периодического действия (рис. 24), также имеющие паро- или электроподогрев, состоят из двух баков, соединенных специальными трубопроводами с вакуумными насосами и баком пропиточного состава. Секции загружают в один из баков установки, герметично закрывают его и включают обогрев и вакуум-насосы. Отсчет времени сушки начинают с момента достижения указанных в технологической карте температуры и вакуума. Окончив сушку, секции пропитывают в этом же баке, постепенно заполняя его заранее приготовленным и нагретым пропиточным составом и контролируя давление, которое не должно резко повышаться. Повышение давления может значительно снизить электрическую прочность конденсаторов. Пропиточный состав легко впитывается в высушенную и обезгаженную бумагу.

Окончив пропитку, откачивают пропиточный состав в ту же емкость, из которой его подавали. Охлаждают бак с находящимся в нем секциями до 60°С, разгерметизируют его и выгружают секции. Установка работает периодически, т.е. в то время как в одном баке проводится сушка и пропитка секций, другой находится под разгрузкой-загрузкой.

Для облегчения трудоемких и длительных операций и более точного соблюдения технологических режимов при изготовлении бумажных конденсаторов создана автоматическая линия ЛПК непрерывного действия (рис. 25 и 26), в которую входят три камеры: атмосферной и вакуумной сушки и вакуумной пропитки. Камера вакуумной пропитки разделена подвижной заслонкой на два отсека.

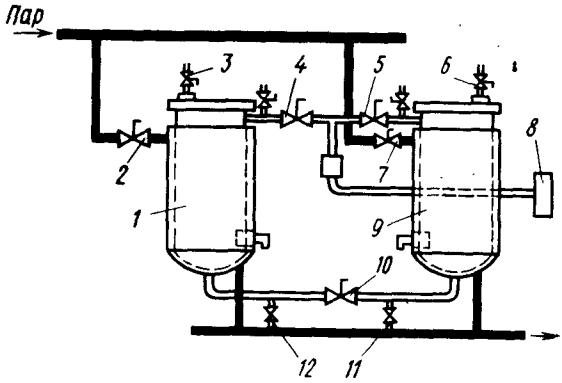


Рис. 24. Баковая установка периодического действия для сушки и пропитки бумажных конденсаторов:
1, 9 – вакуумные баки, *2, 7* – вентили пароподогрева, *3, 6* – вакуум-зажимы, *4, 5, 10, 11, 12* – вакуумные вентили, *8* – вакуум-насос

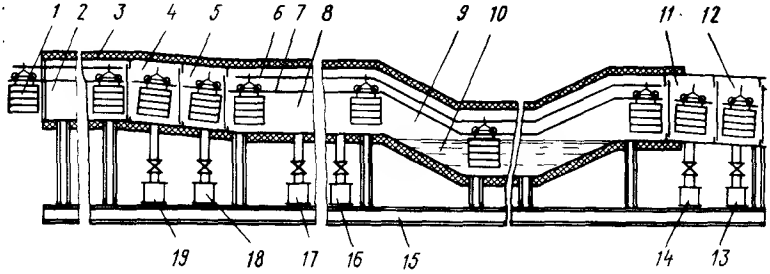


Рис. 25. Автоматическая линия ЛПК непрерывного действия сушки и пропитки секций бумажных конденсаторов:
1 – тележка под загрузкой, *2* – камера атмосферной сушки, *3* – теплоизоляция, *4, 12* – шлюзы предварительного вакуума, *5, 11* – шлюзы глубокого вакуума, *6* – тяговый конвейер, *7* – моиорельс, *8, 9* – камеры вакуумной сушки и пропитки, *10* – пропиточный состав, *13, 19* – форвакуумные насосы, *14, 16, 17, 18* – иасосы глубокого вакуума, *15* – станина

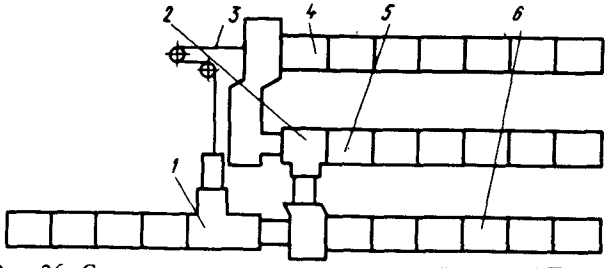


Рис. 26. Структурная схема автоматической линии ЛПК непрерывного действия сушки и пропитки секций бумажных конденсаторов:
1, 2 – шлюзы, *3* – открытый участок цепного конвейера, *4, 5, 6* – камеры туннельного типа

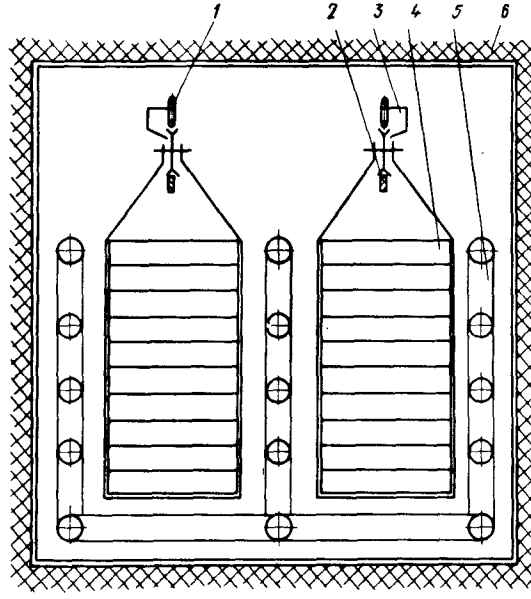


Рис. 27. Камера автоматической линии ЛПК:
1 – цепной конвейер, *2* – монорельс, *3* – зацеп, *4* – каретка с кондеисаторами, *5* – паровые регистры, *6* – теплоизоляция

Внутри камер (рис. 27) имеются подвесные цепные конвейеры *1*, которые составляют единую транспортную систему линии, управляемую программным устройством. Кроме того, в камеры вмонтированы монорельсы *2*. Конвейер, выходя наружу из первой камеры, образует открытый участок, где происходит загрузка и выгрузка кареток *4* с конденсаторами. Каретки устанавливаются на монорельс камеры атмосферной сушки и цепным конвейером с помощью зацепа *3* толкаются вдоль всей камеры. Такие же каретки передвигаются в камерах вакуумной сушки и пропитки.

В начале камеры вакуумной сушки и в конце камеры вакуумной пропитки установлены специальные шлюзовые камеры, через которые каретки с конденсаторами переходят из атмосферной камеры в вакуумную и из камеры пропитки в атмосферу без нарушения в них вакуума. Шлюзовая камера состоит из двух соединенных между собой шлюзов: форвакуумного и высоковакуумного. Для обеспечения перехода каретки с конденсаторами из второго шлюза в камеру вакуумной сушки в них создается одинаковый вакуум.

Рассмотрим работу шлюзов при прохождении каретки с конденсаторами из камеры атмосферной сушки в камеру вакуумной сушки. Сначала открывается первая заслонка первого (форвакуумного) шлюза с атмосферным давлением; вторая заслонка в это время герметично закрыта. Каретка захватом цепного конвейера подается в первый шлюз, его заслонка герметично закрывается и начинает откачиваться воздух. При достижении необходимого остаточного давления в первом шлюзе открывается вторая заслонка, отделяющая его от второго шлюза, каретка под действием собственной массы по наклонному монорельсу перемещается во второй шлюз и вторая заслонка первого шлюза герметично закрывается. В это время в

первый шлюз подается атмосферное давление и он открывается для приема следующей каретки. Одновременно второй шлюз откачивается до давления, равного давлению в камере вакуумной сушки, после чего открывается его заслонка, через которую под действием собственной массы каретка попадает в камеру вакуумной сушки. В местах, где проходят заслонки шлюзов, монорельс имеет разрыв, равный ширине заслонки, но меньше диаметра ролика, на котором каретка подвешена к монорельсу, поэтому она свободно его проходит.

Снаружи камеры покрыты теплоизоляцией, внутри в них установлены паровые регистры *5*, создающие необходимую для сушки и пропитки температуру. Кроме того, для удаления газов и паров воды, выделяющихся из секций конденсаторов, вакуумные камеры и шлюзы имеют специальные постоянно работающие вакуумные насосы.

Пропиточный материал, поступающий в камеру пропитки, предварительно сушат и вакуумируют в специальном термостате-дегазаторе. В камере пропитки автоматически поддерживается постоянный уровень предварительно обработанного пропиточного материала. Для выхода кареток из камеры пропитки имеется вторая система шлюзов.

Линии пропитки металлобумажных и пленочных конденсаторов имеют только две камеры вакуумной сушки и вакуумной пропитки.

§ 23. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ТОРЦОВ СЕКЦИЙ

Контактный слой на торцы секций прямоугольных металлопленочных и металлобумажных конденсаторов наносят, напыляя сжатым воздухом расплавленный припой ПОС30 (рис. 28) на специальном полуавтомате (рис. 29). Собранные в струбцину *6* секции подаются конвейером *7* под распылительное приспособление, состоящее из снабженного нагревателем тигля *2* с припоем, клапана, открываемого в момент распыления, распылительного сопла *5* и воздухопровода *3*, по которому от компрессора подается сжатый воздух, очищенный от примесей масла и воды.

Напыление на торцы секций выполняют через специальные шаблоны (маски) *1*, оставляющие незащищенными участки, на которые должен быть нанесен слой металла. Температуру припоя в тигле поддерживают 280–320° С. При хорошем качестве напыления торцы секций покрываются мелкозернистым равномерным слоем металла толщиной 0,5–1 мм. Если металл задерживается в распылительном сопле, причинами этого могут быть его недостаток в тигле, в результате чего в сопло поступают шлаки и окислы, слабый нагрев подаваемого воздуха, низкая температура припоя, неисправность клапана. При неравномерном нанесении слоя металла необходимо отцентрировать распылительное сопло. Крупнозернистый слой образуется при низком давлении подаваемого воздуха. Поэтому надо постоянно контролировать давление воздуха и поддерживать его в пределах $(3{,}9 \div 4{,}9) \cdot 10^2$ кПа, а также следить за качеством наносимого слоя и расходом припоя (количество припоя должно быть в пределах от 3/4 до 1/4 внутреннего объема тигля).

Торцы цилиндрических секций конденсаторов МБМ металлизируют на автоматах (рис. 30), а конденсаторов МБГО, МБГП и других – на полуав-

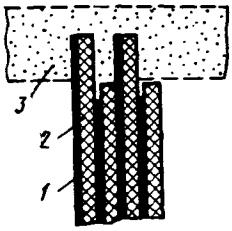


Рис. 28. Нанесение слоя металла на торец секции:
1 – слой металлизации, *2* – бумажная лента, *3* – напыленный слой металла

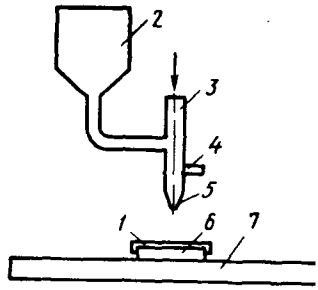


Рис. 29. Полуавтомат металлизации торцов секций:
1 – шаблон (маска), *2* – тигель с припоем, *3* – воздухопровод, *4* – клапан, *5* – распылительное сопло, *6* – струбцина с секциями, *7* – конвейер

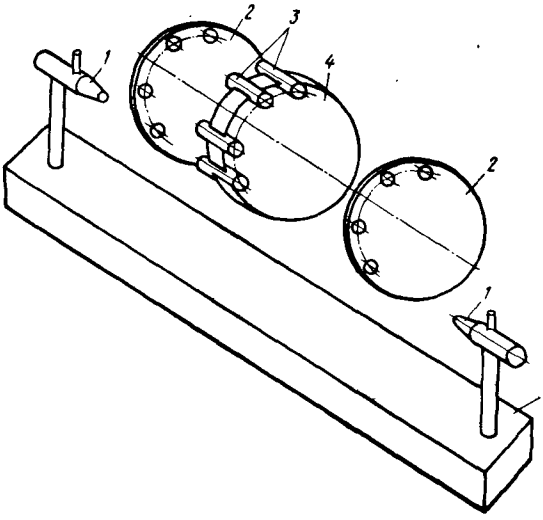


Рис. 30. Автомат металлизации торцов секций:
1 – форсунки для распыления припоя, *2* – трафареты, *3* – секции, *4* – транспортный диск, *5* – ванна с расплавленным припоем

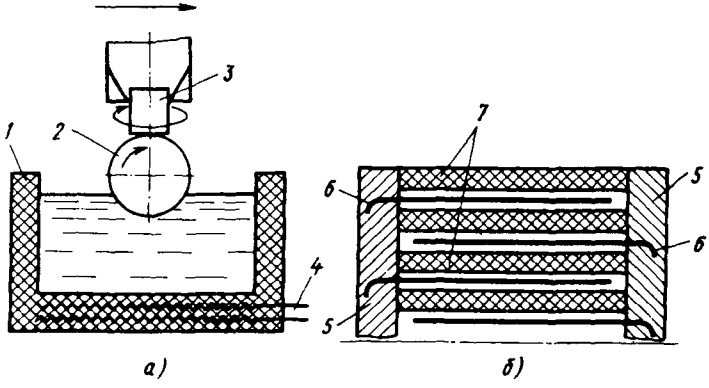


Рис. 31. Автомат лужения торцов секций (*а*) и секция с нанесенным контактным слоем (*б*):
1 – ванна с припоем, *2* – медный ролик, *3* – секция, *4* – нагреватель, *5* – контактный слой, *6* – обкладки, *7* – диэлектрик

томатах. Контактный слой наносят пульверизацией (шоопированием) расплавленного припоя ПОС40.

При работе на автомате секции *3* конденсаторов загружают в пазы транспортного диска *4*, расположенного между двумя трафаретами *2*. В трафаретах соосно пазам диска выполнены отверстия, через которые припой наносится на торцы секций. Толщина контактного слоя 0,3–0,8 мм. Сопла автомата работают при давлении не менее 500 Па и температуре припоя не ниже 300°С. При таком режиме торцы секций покрываются равномерным мелкозернистым слоем металла. На полуавтомате выполняются те же операции, что и на автомате.

Торцы секций некоторых конденсаторов с фольгированными обкладками металлизируют лужением на автомате (рис. 31,*а*). Закрепленные во вращающихся цангах секции *3* поочередно каждым торцом прикасаются к частично погруженному в ванну *1* с расплавленным припоем вращающемуся медному ролику *2*. Температура расплавленного припоя не должна превышать 300°С; частота вращения ролика – не более 100 об/мин, а секций – не более 200 об/мин. Для лужения торцов секций используют оловянно-цинковый припой, содержащий до 30% цинка.

Предварительно припой в ванне разогревают до заданной температуры, а затем устанавливают необходимую частоту вращения ролика и секций, а также скорость перемещения секций над роликом. Изменяя частоту вращения ролика и секций, можно регулировать толщину наносимого слоя припоя от 0,2 до 0,5 мм (рис. 31, *б*).

На торцы секций из бумаги и пленки, металлизированных алюминием, для лучшего сцепления контактного слоя металла и создания прочного электрического контакта перед напылением припоя наносят тонкий подслой цинка. Цинк плавят электрической дугой и распыляют сжатым воздухом при температуре не ниже 290°С. К нанесенному таким способом контактному слою припаивают проволочные выводы.

§ 24. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Под действием влаги электрические свойства многих конденсаторов значительно ухудшаются. Поглощение влаги диэлектриком приводит к некоторому увеличению емкости конденсаторов (так как у воды $\epsilon = 80$), резкому снижению электрического сопротивления изоляции (так как ρ воды около 10^6 Ом · см), возрастанию тангенса угла диэлектрических потерь и способствует развитию электрохимических явлений, ускоряющих старение диэлектрика. Осаждение влаги на закраинах даже негигроскопичного диэлектрика вызывает снижение электрических свойств конденсаторов, а иногда закорачивание по закраине.

Ухудшение электрических свойств конденсаторов наблюдается даже при нормальной относительной влажности (65%) и особо резко возрастает при 90–100%, что случается во время их работы на открытом воздухе. Особенно резко ухудшаются под действием влажности электрические характеристики бумажных и металлобумажных конденсаторов. Поэтому ряд конденсаторов для защиты от действия влаги опрессовывают пластмассой. Эффективным средством является вакуумплотная герметизация, под кото-

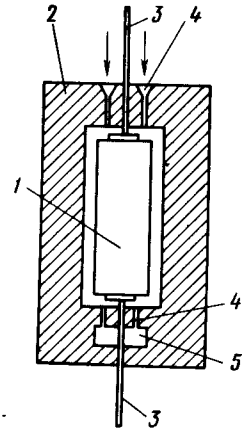


Рис. 32. Пресс-форма для опрессовки конденсаторов пластмассой: *1, 3* – секция и ее выводы, *2* – пресс-форма, *4* – литники, *5* – буферная камера

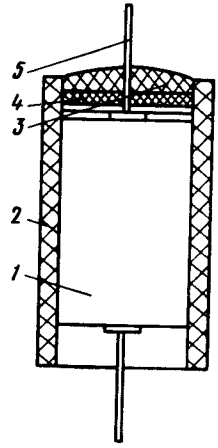


Рис. 33. Герметизация конденсатора компаундом: *1* – секция, *2* – пластмассовая трубка, *3* – компаунд, *4* – прокладка, *5* – вывод

рой понимают защиту конденсаторов от действия окружающей среды непроницаемыми для воздуха и влаги оболочками из черных металлов, алюминия, керамики или стекла. Для вакуумплотного соединения конструктивных элементов оболочек обычно используют пайку мягкими припоями ПОС или реже – сварку. Герметичность таких соединений не нарушается в течение длительного времени.

Прямоугольные корпуса (оболочки) выполняют из листовой мягкой стали или из стальной низкоуглеродистой ленты холодной прокатки, а цилиндрические – из алюминия. Если позволяют размеры, корпуса изготовляют вытяжкой. Малогабаритные корпуса из алюминия выполняют холодной высадкой. Крышки корпусов штампуют, вырубая отверстия для стеклянных или керамических изоляторов (иногда и в дне корпуса).

При размерах, исключающих вытяжку, донышко и стенки корпуса также изготовляют штамповкой. На донышке и крышке делают отбортовки, которые необходимы для последующего соединения с изоляторами. Вокруг отверстий для изоляторов на крышках выполняют небольшие углубления. Иногда стенки корпуса изготовляют на штампах гнутьем из прямоугольной заготовки. Концы свернутой заготовки соединяют внахлест, скрепляют точечной сваркой и паяют. Аналогично соединяют дно со стенками.

Пайку выполняют, погружая корпуса в расплавленный припой, а также вручную паяльником, предварительно облудив места паек горячим способом. Стеклянные или керамические изоляторы впаивают в отверстия крышки в специальных конвейерных печах или реже – паяльником. Крышку с корпусом после сборки конденсатора обычно соединяют высокочастотной пайкой припоями ПОС или реже – паяльником.

Некоторые типы конденсаторов в металлических корпусах герметизируют не крышкой с изолятором, а заливкой компаундом или резиновыми шайбами, завальцовываемыми закраиной корпуса (цилиндрические корпуса). Такая конструкция называется уплотненной. В последнее время широкое распространение получает герметизация пластмассой методом опрессовки или монтажа в пластмассовый корпус с последующей заливкой.

Опрессовка термопластичными материалами бумажных конденсаторов цилиндрической формы значительно упрощает их конструкцию, уменьшает массу и размеры. Опрессованный конденсатор состоит из секции с выводами и пластмассовой оболочки. Опрессовку выполняют на пневматических прессах, вставляя секции в специальные пресс-формы (рис. 32), куда под давлением через верхние литники *4* подается жидкий герметик. Попадая в камеру, герметик равномерно обволакивает секцию *1*, а избыток его через нижние литники *4* стекает в буферную камеру *5*. После некоторой выдержки секции в камере, в течение которой герметик отвердевает, давление снимают, раскрывают пресс-форму и извлекают опрессованный конденсатор.

В настоящее время распространен другой способ герметизации, при котором секцию монтируют в квадратный или цилиндрический корпус, заливая его компаундом. Квадратный корпус выполняют в виде "коробочки", а цилиндрический – в виде трубочки (рис. 33), заливая компаундом вначале один торец секции, а после полимеризации – другой. Иногда корпуса цилиндрических секций изготовляют литьем или намоткой нескольких слоев липкой ленты с последующей заливкой торцов компаундом. Ширина корпуса из липкой ленты в этом случае на несколько миллиметров больше ширины секции, в результате чего образуется закраина для заливки.

§ 25. ПАЙКА

Пайка обеспечивает высокую механическую прочность соединения, хороший электрический контакт и герметичность. В массовом производстве конденсаторов в основном применяют механизированную пайку. Наиболее распространена пайка токами высокой частоты, при которой используется принцип индукционного нагрева металлических тел. В основу этого метода положена способность электрических колебаний высокой частоты индуктировать интенсивные вихревые токи в металлическом теле, которые его нагревают. Основными преимуществами пайки токами высокой частоты являются: быстрота процесса, т.е. высокая производительность; равномерность нагрева соединяемых деталей; возможность получения сразу нескольких швов; одновременная пайка нескольких деталей; местный прогрев соединения (без прогрева всей детали); бесконтактная передача соединяемым деталям тепловой энергии; высокая герметичность и прочность, так как припой затекает на всю глубину паяемого шва.

Установка высокочастотной пайки (рис. 34) состоит из лампового генератора ЛГЗ-10, конвейера, сетевого фильтра, систем охлаждения и вентиляции и щита управления. Максимальная мощность генератора 10 кВт, рабочая частота 500–700 кГц.

Конвейер *1*, предназначенный для беспрерывной подачи изделий от места загрузки к месту пайки и плавного перемещения их под индуктором *4*

генератора *5* во время пайки, собран на металлическом каркасе. На каркасе конвейера расположена деревянная полка, по которой движется лента *2*. Деревянная полка имеет ряд сменных фиксаторов для точной установки на ленте приспособлений с подлежащими пайке деталями или конденсаторами. Лента конвейера имеет длину около 2 м и ширину 0,4 м и может двигаться со скоростью от 0,5 до 3 м/мин. Механизм электрической регулировки скорости ленты расположен внутри металлического каркаса конвейера.

Для устранения больших потерь в индукторе и удобства отвода тепла целесообразно изготовлять его из красно-медной трубки круглого или квадратного сечения, так как красная медь является одним из наиболее электро- и теплопроводящих материалов, а по трубке удобно пропускать воду для охлаждения.

Для наиболее эффективного нагрева индуктор сконструирован так, чтобы деталь помещалась в непосредственной близости от его внутренней поверхности, где сильнее магнитное поле. Следует учитывать, что при слишком малом зазоре может произойти пробой воздушного промежутка и повреждение поверхности изделия. Расстояние между индуктором и изделием должно быть от 2 до 15 мм. Простейший индуктор может иметь один или несколько витков, причем одновитковые индукторы более распространены.

Обычно используют проходной индуктор (рис. 35) из медной трубки *1* круглого сечения с внутренним 2–6 мм и внешним 4–8 мм диаметром. Длина индуктора из соображений жесткости должна быть не более 300 мм. Для охлаждения индуктора через него пропускают воду, которую подводят по резиновым шлангам, надетым на специальные штуцеры *2*.

Паять швы корпуса, особенно с помещенными в них пакетами секций, желательно при наименьшей температуре, так как значительный прогрев может привести к ухудшению электрических характеристик конденсаторов.

Крышки с изоляторами припаивают к корпусам после сборки токами высокой частоты, используя легкоплавкий припой ПОС40. Зазор между спаиваемыми деталями должен быть 0,05–0,5 мм. Зазор меньше 0,05 мм из-за неравномерности заполнения его припоем не позволяет получить прочный шов. При больших зазорах расплавленный припой затекает внутрь, образуя наплывы, в результате чего нарушается герметичность шва. Небольшие зазоры между соединяемыми частями обеспечивают лучшую передачу тепла, помогают удерживать детали в требуемом положении без специальных приспособлений, что при массовом производстве желательно, и, что самое главное, вызывают явление капиллярности, которое способствует повсеместному проникновению припоя на всю глубину шва.

Чтобы получить надежный герметичный шов, очищают поверхности от различных загрязнений, покрывают места соединений флюсом (масло- или спирто-канифольной смесью либо канифолью в виде порошка).

При пайке токами высокой частоты детали обязательно должны иметь технологическое отверстие для выхода расширяющегося при нагреве воздуха, который препятствует затеканию припоя в глубь шва. Это отверстие делается обычно в одном из углов крышки конденсатора. Время нагрева не должно быть слишком малым (припой должен успеть затечь) или слишком большим (может нагреться вся деталь). Обычно пайка продолжается от 5

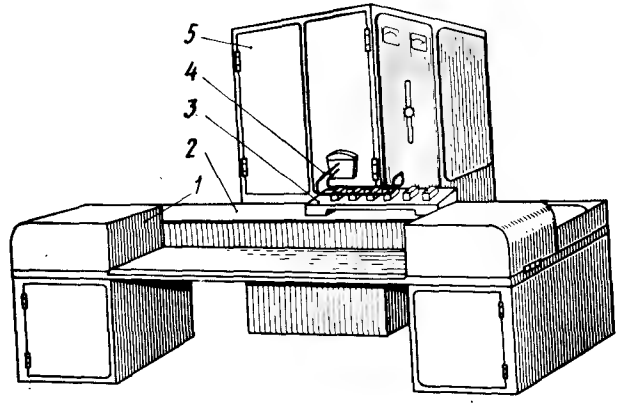


Рис. 34. Установка высокочастотной пайки:
1 – конвейер, *2* – подвижная лента, *3* – приспособление с размещенными на нем изделиями, *4* – индуктор, *5* – высокочастотный генератор

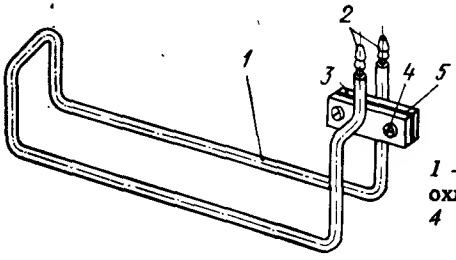


Рис. 35. Проходной индуктор:
1 – медная трубка, *2* – штуцер для подвода охлаждающей воды, *3* – медная пластина, *4* – эбонитовый винт, *5* – прокладка из микалекса

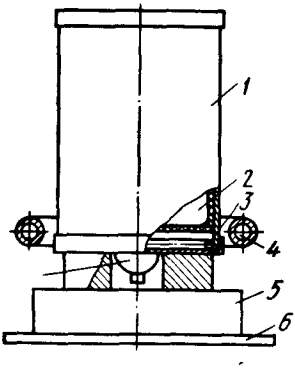


Рис. 36. Пайка крышки с изоляторами к корпусу конденсатора КСГ-2:
1 – коиденсатор, *2* – секция, *3* – припой в виде прямоугольной рамки, *4* – индуктор, *5* – приспособление, *6* – лента конвейера

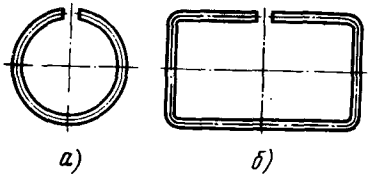


Рис. 37. Проволочный припой в виде кольца (*а*) и рамки (*б*)

до 30 с. Экономически наиболее выгодно выполнять пайку непрерывно, пропуская детали одну за другой под неподвижным индуктором.

Рассмотрим для примера пайку крышки с изоляторами к корпусу конденсатора КБГ-МН (рис. 36). Проволочные выводы, выходящие из трубочек изоляторов, подрезают ручными ножницами на расстоянии около 6–8 мм от края трубочки и загибают. По периметру крышки кисточкой наносят масляно-канифольный флюс, устанавливают конденсаторы крышкой вниз на приспособление *5*, которое помещают на движущуюся ленту *6* конвейера и пропускают через индуктор *4*. При прохождении через индуктор шов запаивается. Проволочный припой *3* вкладывают внутрь корпуса конденсатора перед надеванием металлической крышки так, чтобы он возможно плотнее прилегал к ее внутренней поверхности. Проволочный припой в виде колец (рис. 37,*а*) или рамок (рис. 37,*б*) изготовляют заранее.

При пайке следят, чтобы приспособления с изделиями проходили через индуктор непрерывно одно за другим и прижимались к упору, а также, чтобы посадка корпуса в крышку и размещение конденсатора на приспособлении были правильными, без перекосов. Кроме того, наблюдают за правильным растеканием припоя по шву и периодически контролируют слив воды в системе охлаждения, анодный и сеточный токи.

Пока не все операции пайки механизированы, довольно много еще операций выполняют вручную паяльником. Так, вручную легкоплавкими припоями паяют проволочные жгутики к ленточным выводам, стеклянные изоляторы к крышкам, соединяют металлические трубочки стеклянных изоляторов (с лепестковым выводом) с находящимся внутри них проволочным выводом (в прямоугольных конденсаторах). В последнее время пайка корпусов заменяется сваркой.

§ 26. ПРОМЫВКА ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Промывку конденсаторов выполняют после пропитки секций и пайки заливочных отверстий, чтобы удалить остатки пропитывающего состава и флюса и приступить к проверке на герметичность и окраске.

Промывку в основном выполняют в нагретом растворе тринатрийфосфата и жидкого стекла, удаляя остатки загрязнений механическим воздействием струй раствора и горячей воды. Горячая водна необходима для тщательного обезжиривания поверхности и удаления остатков тринатрийфосфата. Промывают конденсаторы на конвейериой моечной машине с тремя ваннами (одна для раствора и две для горячей воды), парообогревом, сушильной камерой и приборами контроля температуры.

Подлежащие промывке конденсаторы укладывают широкой стороной на сетку конвейера в один ряд на расстоянии 1–2 см друг от друга и на 7–8 см от края ленты. После промывки их снимают с ленты конвейера и направляют на следующие операции.

Каждые сутки в раствор добавляют тринатрийфосфат и жидкое стекло. Полностью заменяют обезжиривающий раствор через 2–3 суток по мере потери им обезжиривающей способности. Воду заменяют не реже двух раз в смену. При замене раствора промывают все ванны горячей водой и протирают их ветошью. Два раза в месяц тщательно очищают внутреннюю часть

ванн металлическим скребком или металлической щеткой и 2–3 раза промывают горячей водой.

Иногда конденсаторы или детали (например, крышки конденсаторов КБГ-МН после пайки изолятора) промывают (обезжиривают) в растворителе РДВ или в других. Эту операцию выполняют в двух ваннах, расположенных в кабинах, снабженных вытяжной вентиляцией. Конденсаторы выдерживают в растворе от 5 до 15 мин, потом каждый из них тщательно моют щеткой, помещают в сетчатый противень над ванной, а затем протирают упаковочной сорочкой и укладывают в чистую тару.

Широко распространенная ранее промывка конденсаторов четыреххлористым углеродом в специальных моечных машинах из-за высокой токсичности растворителя в массовом производстве применяется все реже.

Хорошо промытыми считают такие конденсаторы, на поверхности которых в лучах ртутно-кварцевой лампы не обнаруживаются белые флуоресцирующие пятна, свидетельствующие о наличии загрязнений вазелином, маслом, канифолью и др.

§ 27. ПРОВЕРКА КОНДЕНСАТОРОВ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Герметичность конденсаторов контролируют несколькими способами:

по вытеканию заливочной массы на фильтровальную бумагу, подложенную под конденсатор, при его нагреве в термостате;

по выделению пузырьков воздуха в местах негерметичного соединения конденсаторов, погруженных в подогретую масляную ванну;

по свечению в лучах ртутно-кварцевой лампы заливочной массы, вытекающей в местах негерметичного соединения после нагрева конденсатора в термостате или конвейерной печи.

Наиболее точной считают проверку в лучах ртутно-кварцевой лампы. Приспособление для проверки герметичности конденсаторов в лучах ртутно-кварцевой лампы (рис. 38) представляет собой деревянный кожух, внутри которого расположены ртутно-кварцевая лампа *3* и увиолевое стекло *4*, пропускающее только ультрафиолетовые лучи. Перед проверкой конденсаторы нагревают в термостате. Для этого его включают, прогревают до необходимой рабочей температуры, которую устанавливают в зависимости от типа конденсатора (обычно она равна 85°С ±5°С) и укладывают в него конденсаторы, чтобы они не соприкасались. Время выдержки в термостате зависит от размеров конденсаторов: они должны прогреться до необходимой температуры. Нагреваясь, пропиточная масса в конденсаторах расширяется и, если в корпусах имеются негерметичные места, вытекает через них.

Вытекание пропиточной массы очень точно определяют при осмотре конденсаторов в ультрафиолетовых лучах, так как под их воздействием пятна пропитывающего состава ярко светятся. Если в местах пайки корпусов, крышек, донышек, лепестков, заливочных отверстий или изоляторов обнаружены светящиеся пятна пропитывающего состава, конденсаторы негерметичны. Места течи отмечают маркировочным карандашом и направляют конденсаторы на подпайку.

Проверку герметичности конденсаторов погружением их в нагретое минеральное масло выполняют в специальных ваннах с пароподогревом

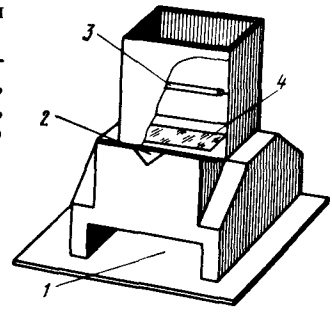


Рис. 38. Приспособление для проверки герметичности конденсаторов в лучах ртутно-кварцевой лампы:
1 – отверстие для установки испытываемых изделий в зону действия ультрафиолетовых лучей, *2* – отверстие для осмотра испытываемых изделий, *3* – ртутно-кварцевая лампа, *4* – увиолевое стекло

или с хорошо изолированным электрическим подогревом. В ванну заливают трансформаторное масло, включают подогрев, вытяжную вентиляцию и местное освещение кабины. Маслу дают прогреться до температуры 95°С± ±5°С, при которой ведется проверка герметичности.

Сетчатые стальные корзины с уложенными в один слой конденсаторами опускают в ванну с маслом так, чтобы его уровень был на 2–5 см выше самой высокой точки конденсаторов. Конденсаторы выдерживают в нагретом масле в течение 5–6 мин (время удобнее замечать по песочным часам) и наблюдают за появлением пузырьков воздуха на поверхности масла. Герметичными считаются конденсаторы, из паяных швов которых (на корпусе, в изоляторах, лепестках и др.) в продолжение всего времени выдержки не выделяются пузырьки воздуха.

Если пузырьки воздуха выделяются из мест пайки, конденсаторы считают негерметичными, извлекают их щипцами из ванны, отмечают места течи маркировочным карандашом, укладывают в отдельную тару и направляют на дополнительную пайку, а затем снова проверяют на герметичность.

При проверке герметичности по вытеканию пропиточной массы на фильтровальную бумагу конденсаторы, так же как и при проверке их в лучах ртутно-кварцевой лампы, помещают в термостат, но под них подкладывают фильтровальную бумагу. После прогрева конденсаторы по одному вынимают из термостата и тщательно осматривают место под каждым из них на фильтровальной бумаге. Если есть пятно пропитывающего состава, конденсатор негерметичен.

§ 28. ОКРАСКА КОНДЕНСАТОРОВ

Металлические корпуса конденсаторов после проверки на герметичность, если необходимо, окрашивают, чтобы защитить их от коррозии и с декоративными целями.

Окрашивают конденсаторы различными способами: вручную (кистью или пульверизатором), окунанием, в струе фонтанирующей краски и др. Для любого способа окраски необходимо выбрать краску, подготовить ее и довести до необходимой вязкости. Металлические корпуса герметизированных конденсаторов окрашивают пентафталевой эмалью № 64к.

Перед окраской конденсаторов необходимо правильно подготовить краску, так как это имеет большое значение для получения качественного

покрытия. Эмаль тщательно перемешивают 25–35 мин в краскомешалке. Если температура эмали ниже 15°С, необходимо ее до загрузки в краскомешалку выдержать в комнатных условиях или подогреть до 18–20°С. При подготовке небольшого количества краски (2–3 кг) ее можно перемешать вручную в течение 10–15 мин. Перемешанную эмаль процеживают через сито (или через четыре слоя марли) и берут пробу для определения вязкости. Для получения необходимой вязкости эмаль разбавляют уайт-спиритом.

При окраске окунанием вязкость должна быть (35 ±5) с для первого покрытия и (30 ±5) с для второго, а при окраске пульверизатором и кистью – соответственно 60–100 и 120–150 с. При значительном отклонении окружающей температуры от нормальной норма вязкости должна быть изменена. Вязкость эмали при окраске пульверизатором выбирают в зависимости от диаметра сопла. Так, для сопла диаметром 2–2,5 и 0,9 мм рекомендуется вязкость соответственно 60–80 и 80–100 с.

Сначала, добавляя уайт-спирит, разбавляют небольшое количество эмали и методом последовательных проб доводят ее до нужной вязкости. Затем, зная использованное для пробы количество уайт-спирита, пересчитывают его для всей необходимой эмали. Нужное количество уайт-спирита добавляют в сосуд с эмалью и тщательно перемешивают смесь 1,5–2 ч на краскомешалке (или вручную 25–30 мин, если эмали не более 2–3 кг). После перемешивания берут пробу краски, процеживают через сито и не менее двух раз определяют вязкость, вычисляя ее среднее значение. Если вязкость оказывается больше заданной, эмаль повторно разбавляют, а если меньше, добавляют чистую эмаль в количестве, достаточном для получения заданной вязкости. После этого эмаль перемешивают и повторно определяют вязкость. Приготовленную эмаль процеживают через сито, после чего она готова к употреблению.

Для получения качественного покрытия поверхность конденсаторов тщательно обезжиривают и дважды окрашивают, просушивая каждый слой.

При окраске кистью на рабочем месте устанавливают приспособление, на которое подвешивают окрашенные конденсаторы. Рабочее место должно быть оборудовано вытяжной вентиляцией. При окраске конденсаторов в металлических корпусах наносят кистью равномерный слой эмали, при этом нельзя покрывать краской контактные поверхности выводов (лепестков и др.), а также изоляторы, на которые предварительно надевают защитные зажимы.

При окраске конденсаторов пульверизатором руки работающего должны быть защищены резиновыми перчатками, а рабочее место также оборудовано вытяжной вентиляцией. Предварительно в бачок пульверизатора заливают краску и проверяют качество распыления. Давление сжатого воздуха, подводимого к пульверизатору для нормального распыления краски, должно быть при диаметре сопла 2,5 и 0,9 мм соответственно не ниже $4{,}1 \cdot 10^2$ и $(2{,}9 \div 3{,}9) \cdot 10^2$ кПа.

Подлежащий окраске конденсатор помещают между соплом пульверизатора и отверстием вытяжной кабины. Указательным пальцем руки, держащей пульверизатор, нажимают на его спусковой крючок, после чего краска начинает распыляться, выходя из сопла в виде конусообразной струи. Постепенно поворачивая конденсатор, последовательно направляют

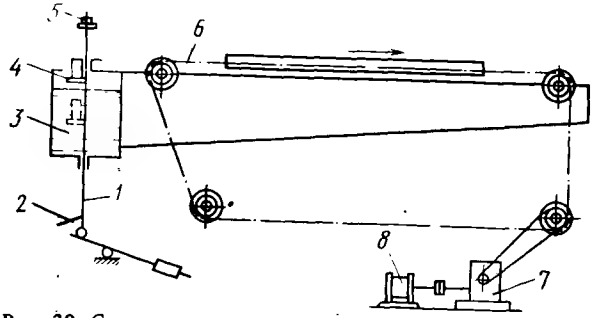


Рис. 39. Схема машины для окраски конденсаторов методом окунания:
1 – подвижная рама, *2* – педаль с противовесом, *3* – ванна с краской, *4* – подвижная полка, *5* – гайка регулировки глубины погружения конденсаторов в краску, *6* – цепной конвейер, *7* – редуктор, *8* – электродвигатель

струю распыленной краски на его поверхности. Окрашенные кистью или пульверизатором конденсаторы подвешивают на рейку так, чтобы они не соприкасались, и переносят заполненную рейку в сушильное устройство.

Окраска конденсаторов окунанием на специальных машинах (рис. 39) является самым производительным методом. Хорошо размешанную краску заливают в ванну *3* до уровня, указанного отметкой, и, если необходимо, регулируют расположение подвижной полки *4* для конденсаторов гайкой *5*. Свободную рейку для подвески конденсаторов вкладывают в гнезда подвижной полки *4*. Подлежащие окраске конденсаторы подвешивают за один лепесток на крючки рейки так, чтобы излишки краски лучше стекали и их было бы удобно снимать кисточкой.

На машине окрашивают сразу все подвешенные на рейке конденсаторы, количество которых определяется их габаритами. При нажатии на педаль *2* полка с конденсаторами опускается в ванну с краской на такую глубину, чтобы контактные поверхности лепестков не окрашивались. Необходимо следить, чтобы конденсаторы при окунании в ванну располагались вертикально, т.е. стояли на полке. После окраски педаль отпускают, полка поднимается из ванны с краской и рейку с конденсаторами подвешивают на цепной конвейер *6* машины. Затем окрашивают следующую партию конденсаторов. По мере необходимости включают привод конвейера, и рейки с окрашенными конденсаторами перемещаются вдоль машины, освобождая место для подвески следующих реек.

Когда первый слой краски высохнет, конденсаторы аналогично окрашивают второй раз. На окрашенной поверхности конденсаторов не должно быть подтеков, просветов, вздутий и царапин. Слой эмали не должен иметь посторонних включений: металлических частиц, грязи, волосков от кисти и др. Выводы и контактные поверхности должны быть свободны от краски. Цвет, оттенок и равномерность покрытия должны соответствовать утвержденным образцам. Допускаются на швах и острых углах конденсаторов некоторые ослабления пигментации, незначительные подтеки краски, не портящие их внешний вид, незначительные сколы и не более трех царапин площадью до 0,5 мм^2.

§ 29. СУШКА ОКРАШЕННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Для получения качественных покрытий с хорошей адгезией к корпусу каждый слой нанесенной пентафталевой эмали должен быть высушен с соблюдением необходимых технологических требований. Сушат окрашенные конденсаторы в сушильном шкафу с электро- или парообогревом либо инфракрасным излучением.

Самым простым и распространенным является способ сушки конденсаторов в сушильных шкафах с парообогревом. Перед загрузкой конденсаторов в сушильный шкаф следует протереть его стены, потолок и пол, а при загрузке следить, чтобы соседние конденсаторы не соприкасались. Загрузив конденсаторы, дверцы шкафа закрывают и включают подогрев. Температура сушки должна быть 60–70°С, время сушки первого покрытия 4–5 ч, а второго 8–9 ч. По истечении времени сушки выключают обогрев шкафа, при включенной вентиляции охлаждают конденсаторы 1–1,5 ч до 25–30°С и выгружают из шкафа. Если выполнялась сушка первого слоя покрытия, рейки с конденсаторами транспортируют на вторичную окраску, а если второго, – на снятие защитных приспособлений.

При сушке покрытий инфракрасным излучением необходимо предварительно проверить и подготовить установку к эксплуатации. Прежде всего следует убедиться в исправности и правильном расположении ламп. Схема расположения ламп прилагается к инструкции по обслуживанию установки и определяется температурой сушки. Если лампы исправны и расположены правильно, прежде всего надо открыть заслонку на вытяжном воздуховоде установки и включить вытяжную вентиляцию, а затем – накал ламп и электродвигатель конвейера. После некоторого времени прогрева необходимо проверить температуру в камере и отрегулировать ее так, чтобы по всему конвейеру она не превышала 100°С на поверхности конденсатора.

Регулируют температуру, изменяя интенсивность воздухообмена, и, если необходимо, количество и размещение ламп по зонам камеры. Для повышения точности отсчета температуры термопару помещают на поверхность одного из конденсаторов и окрашивают эмалью того же цвета, что и конденсатор.

Подготовив установку, подвешивают рейки с окрашенными конденсаторами к штангам конвейера по мере его движения. Особое внимание необходимо обращать на прочность крепления рейки к штанге и правильность расположения рейки относительно звездочек, поддерживающих цепь конвейера. Сушат конденсаторы в установке от 1 ч 45 мин до 4 ч 30 мин в зависимости от ее наладки и их габаритов. Окончив сушку, рейки с конденсаторами снимают с конвейера и переносят либо на повторную окраску, либо на рабочее место, где снимают защитные приспособления.

В последнее время лампы в некоторых установках заменяют металлическими излучателями инфракрасных лучей (так называемого темного излучения), поверхность которых, нагреваясь до 350–400°С, излучает инфракрасные лучи с длиной волны до 5 мкм, одинаково проникающие через краски различных цветов. В этом случае сушка происходит почти с такой же скоростью, как при ламповом нагреве, но экономически является значительно более выгодной.

§ 30. МАРКИРОВКА КОНДЕНСАТОРОВ

Маркировка – это нанесение на корпуса конденсаторов необходимых обозначений, указывающих их тип, номинальную емкость и напряжение, класс точности, дату изготовления и завод-изготовитель (товарный знак). Наносят маркировку специальными маркировочными красками. Для керамических, металлических и пластмассовых поверхностей конденсаторов используют маркировочные краски различных составов. Защищают нанесенные маркировочные знаки от воздействия внешней среды бесцветным цапонлаком.

В настоящее время для маркировки прямоугольных и цилиндрических конденсаторов применяют соответственно полуавтоматы и автоматы, маркировочные механизмы которых в основном одинаковы. Отличаются эти машины лишь способами загрузки конденсаторов и подачей их на место маркировки.

Схема маркировочного механизма (маркировочной головки) показана на рис. 40. Выполняется маркировка офсетной печатью. Краска наносится на металлическое клише *2*, которое переносит ее на офсетный печатающий ролик *3*, обычно изготовляемые из специальной резины или полиуретановой пластмассы. Офсетный ролик переносит краску на прижимаемое к нему изделие *4*. Маркировку покрывают из пульверизатора цапонлаком, предварительно проверяя качество распыления на листе бумаги. Давление сжатого воздуха должно быть $(3{,}9 \div 4{,}4) \cdot 10^2$ кПа. Защитный слой цапонлака должен быть ровным и тонким. Необходимо следить, чтобы на покрываемой поверхности не было местных вздутий пентафталевой эмали, которые возникают при нанесении слишком большого количества цапонлака при неравномерном разбрызгивании из-за неправильной регулировки пульверизатора. Если лак загрязнен, покрываемая поверхность может стать пестрой, поэтому необходимо следить, чтобы бачок и весь пульверизатор были чистыми. Окончив работу, остатки цапонлака сливают в общий сосуд и промывают пульверизатор растворителем.

Цапонлак – огнеопасная легкоиспаряющаяся жидкость, поэтому при работе с ним необходимо соблюдать правила пожаро- и взрывобезопасности, предусмотренные соответствующими инструкциями.

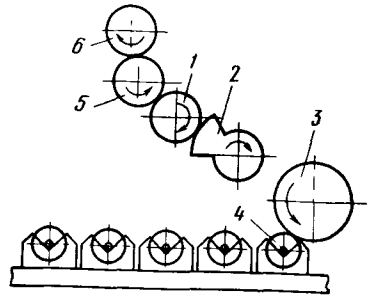


Рис. 40. Схема механизма для маркировки конденсаторов цилиндрической формы с осевыми выводами:
1, *6* – валики с краской, *2* – клише, *3* – офсетный ролик, *4* – изделие на конвейере, *5* – растирочный валик

§ 31. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОНДЕНСАТОРОВ

Схема технологического процесса изготовления бумажных, металлобумажных, металлопленочных и пленочных (полистирольных) конденсаторов цилиндрической формы показана на рис. 41. Бумажные, металлобумажные, металлопленочные и пленочные конденсаторы могут быть нескольких исполнений. В зависимости от способа уплотнения эти конденсаторы можно разделить на три группы:

уплотненные эпоксидным компаундом с фиксацией секции завальцовкой или зиговкой корпуса (рис. 42, *а, б*);

уплотненные резиновыми шайбами с фиксацией секции завальцовкой или зиговкой корпуса (рис. 43, *а, б*);

герметизированные с проходными изоляторами (рис. 44).

Сборка конденсаторов цилиндрической формы (рис. 45) имеет ряд не зависящих от их конструкций и вида диэлектрика однотипных операций. Такими операциями, кроме намотки, являются изготовление и пайка выводов, монтаж компенсационных колпачков и пакета в корпус.

При выполнении I операции из медной луженой проволоки изготовляют два витых вывода, которые после разогрева импульсом тока прижимаются к контактным слоям на торцах секции. При этом происходит расплавление контактного слоя, соединение выводов с ним и охлаждение места соединения. Операция II – монтаж компенсационных колпачков – состоит в напрессовке двух полиэтиленовых колпачков на торцы секции. При этом секция точно центрируется по диаметру и длине, для чего на внутренней поверхности колпачка выполнен конус, а в дне имеются выступ и отверстие под проволочный вывод. Операция III обеспечивает размещение и плотную посадку секции, двух выводов и двух колпачков в корпус.

Выполнение других операций зависит от конструкции уплотнения. При уплотнении конденсаторов эпоксидным компаундом пакет фиксируется в корпусе в осевом направлении завальцовкой (операция IV) или зиговкой (операция V) специальным инструментом. При уплотнении конденсаторов резиновыми шайбами они монтируются на выводы пакета до его монтажа в корпус (операция VI). Затем пакет с шайбами монтируется в корпус и фиксируется завальцовкой его края (операция VII), после чего зиговкой корпуса (операции VIII) зажимается резиновая шайба.

При сборке герметизированных конденсаторов с проходными изоляторами на выводы пакета, установленного в корпус, монтируются проходные изоляторы (операция IX), которые затем фиксируются в корпусе частичной завальцовкой его края (операция X). В некоторых случаях перед зиговкой помещают в корпус кольца припоя, что необходимо для последующей герметизации.

Далее конденсаторы поступают на операцию удаления с наружной поверхности жировых загрязнений, появившихся при сборке. Эту операцию проходят все конденсаторы независимо от способа их уплотнения. Герметизированные конденсаторы с проходными изоляторами поступают на эту операцию дважды: после герметизации и после контроля ее качества.

На операцию обезжиривания конденсаторы поступают в металлической таре. В зависимости от типа конденсаторов и стадии сборки обезжиривание

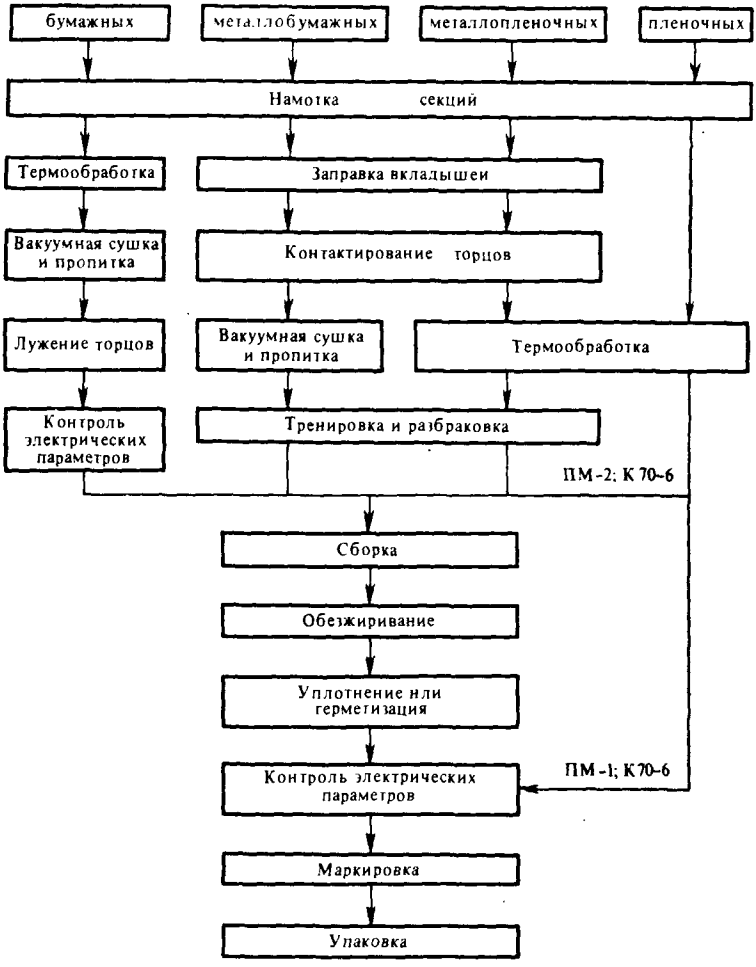


Рис. 41. Схема технологического процесса изготовления бумажных, металлобумажных, металлопленочных и пленочных конденсаторов цилиндрической формы

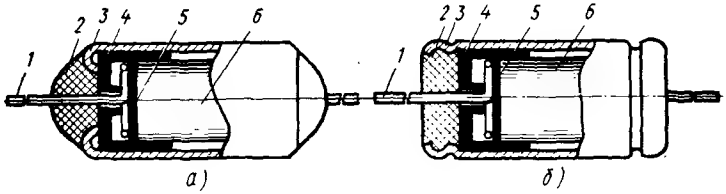


Рис. 42. Конденсаторы, уплотненные эпоксидным компаундом с фиксацией секции завальцовкой (*а*) и заготовкой (*б*) корпуса:
1 – внешний вывод, *2* – эпоксидный компаунд, *3* – корпус, *4* – компенсационный колпачок, *5* – контактный слой, *6* – секция

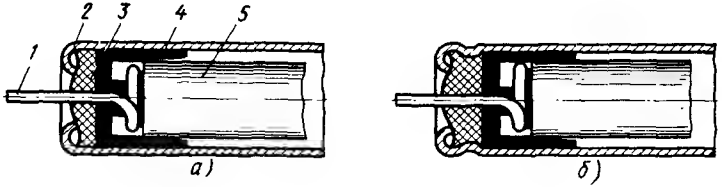


Рис. 43. Конденсаторы, уплотненные резиновыми шайбами с фиксацией секции завальцовкой (*а*) и заготовкой (*б*) корпуса:
1 – внешний вывод, *2* – корпус, *3* – резиновая шайба, *4* – компенсационный колпачок, *5* – секция

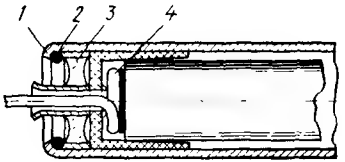


Рис. 44. Конденсатор, герметизированный с проходными изоляторами:
1 – корпус, *2* – припой, *3* – изолятор, *4* – внешний вывод

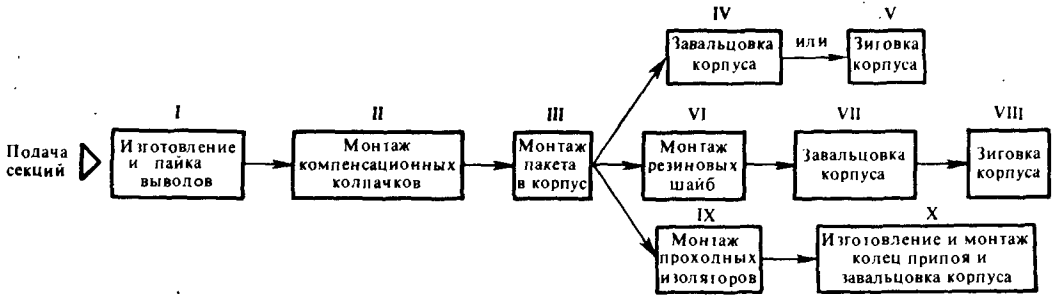


Рис. 45. Структурная схема технологического процесса сборки конденсаторов цилиндрической формы

выполняют на специальных установках окунанием в ванну с моющей жидкостью или протиркой опилками, смоченными моющей жидкостью. Часто вместо опилок используют отходы картона, так называемую "высечку", представляющую собой мелкую картонную крошку.

При уплотнении эпоксидным компаундом, которое выполняют на автоматических и полуавтоматических устройствах, а также вручную, конденсаторы загружают в кассеты в вертикальном положении, заливают и предварительно полимеризуют каждый их торец, а затем проводят окончательную полимеризацию. При заливке торцов количество компаунда дозируется. Причем необходимо следить, чтобы компаунд не покрывал вывод больше, чем указано на чертеже, а также не переливался через край корпуса, так как это приводит к неисправимому браку.

После заливки кассеты с конденсаторами помещают в термостат, где при температуре от 18 до 50°С в зависимости от вида компаунда, типа конденсаторов и очередности заливки торцов происходит предварительная полимеризация. При полимеризации первого торца температура должна быть на 5–10°С выше, чем при полимеризации второго. Точность поддержания температуры в термостате должна быть не ниже ±5°С. Время предварительной полимеризации от 2 до 9 ч.

Окончательную полимеризацию эпоксидного компаунда для придания ему стабильных химических, механических и электрических свойств также проводят в термостатах при температуре от 60 до 125°С в течение 3–14 ч. Температуру и длительность окончательной полимеризации выбирают в зависимости от типа конденсаторов и вида эпоксидного компаунда.

Чтобы обеспечить полную влагонепроницаемость, конденсаторы герметизируют в такой последовательности: запаивают первый, затем второй изоляторы, первую, а затем вторую трубочки. Пайку проходных изоляторов выполняют токами высокой частоты, загружая конденсаторы в текстолитовые кассеты, которые помещают на конвейер установки, перемещающий их в зону индуктора. Кассеты проходят зону индуктора за несколько секунд, но за это время корпус успевает разогреться и расплавившийся припой затекает в зазоры между проходным изолятором и корпусом. В зависимости от конструкции конденсаторов припой при сборке предварительно автоматически укладывается в корпус и фиксируется частичным обжатием корпуса или загружается вручную непосредственно перед пайкой.

Режим пайки изоляторов выбирают в зависимости от размеров и конструкции конденсаторов в соответствии с данными, приведенными в технологической карте.

Пайка трубочек – наиболее трудоемкий процесс герметизации, обычно выполняемый на автоматах и полуавтоматах поочередным окунанием конденсаторов в расплавленный припой. При этом за счет капиллярных сил припой *1* заполняет зазор между трубочкой *2* и выводом *4* (рис. 46). Погрузив конденсатор одним концом в припой, его затем вынимают из ванны и переворачивают; при этом припой, оставшийся в зазоре, затвердевает, обеспечивая герметичность соединения. Вторую трубочку запаивают аналогично, но предварительно прогревают конденсатор до 50–60°С, что позволяет получить прочное соединение.

После герметизации конденсаторы промывают и передают на контроль герметичности в лучах ртутно-кварцевой лампы. Негерметичные конденсаторы бракуют; годные передают на повторную промывку, а затем – на окраску и контроль электрических параметров. Готовые конденсаторы поступают на операции маркировки, лакировки и упаковки.

При выполнении операции маркировки необходимо следить, чтобы наносимые знаки были четкими, а при получении расплывчатых отпечатков удалять их и перемаркировать конденсаторы.

Когда краска подсохнет, на этих же автоматах и полуавтоматах на маркировку наносят слой защитного лака. При лакировке (рис. 47) конденсатор, лежащий на проволочных выводах в специальном конвейере, прокатывается по подставке *2*, установленной в ванночке *1*, в которой поддерживается постоянный уровень *3* лака и имеется решетка *4*, обеспечивающая удаление его излишков с поверхности. Отлакированные конденсаторы сушат в конвейерных печах и передают на упаковку.

На первом этапе упаковки 10–15 конденсаторов в зависимости от их размеров упаковывают в специальную картонную ленту, называемую картонажкой (рис. 48), а на втором – картонажки укладывают в картонные коробки, которые обклеивают бумажной лентой и отправляют на склад. На коробки наносят маркировку, указывающую тип конденсаторов, класс точности, дату изготовления, и ставят штамп ОТК. Упаковка конденсаторов в картонажки выполняется на автоматах, а картонажек в коробки и обклейка коробок – вручную.

Большое распространение получили конденсаторы цилиндрической формы, герметизированные пластмассой. В одном случае корпус выполняется из полистирола или поликарбоната и в него вставляется секция, которая закрывается прокладкой и заливается компаундом. Такая сборка аналогична сборке в металлический корпус. В другом случае герметизация осуществляется методом опрессовки, т.е. заключают секцию в специальную форму, в которую под высоким давлением подают расплавленный до жидкой консистенции полистирол, обволакивающий ее и затвердевающий при охлаждении. Такая сборка наиболее проста, технологична и наименее трудоемка.

Конденсаторы большой емкости собирают в металлические корпуса прямоугольной формы (рис. 49). Секции бумажных конденсаторов заключают в корпус после пропитки и до нее. Сборка секций в корпус до пропитки более технологична, менее трудоемка и позволяет получить конденсаторы лучшего качества, поэтому более распространена. Рассмотрим сборку в корпус секций наиболее массовых герметизированных бумажных конденсаторов КБГ-МН до вакуумной сушки и пропитки.

На рабочее место должны быть поданы металлические корпуса, крышки с впаянными изоляторами, секции конденсаторов, картонные прокладки, обертки из кабельной бумаги, линоксиновая трубка и кольца припоя. К партии подлежащих сборке секций должен быть приложен сопроводительный документ – маршрутный лист с указанием типа конденсатора, емкости и рабочего напряжения секций, их количества и схемы соединений (рис. 50,*а–е*), а также даты выдачи и лица, проводившего комплектацию.

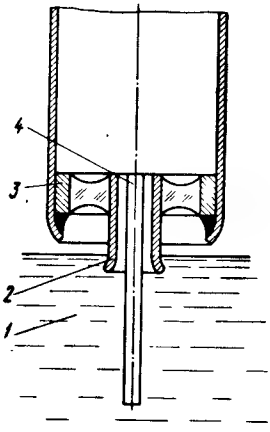


Рис. 46. Пайка трубочки изолятора:
1 – припой, *2* – трубочка, *3* – изолятор, *4* – внешний вывод

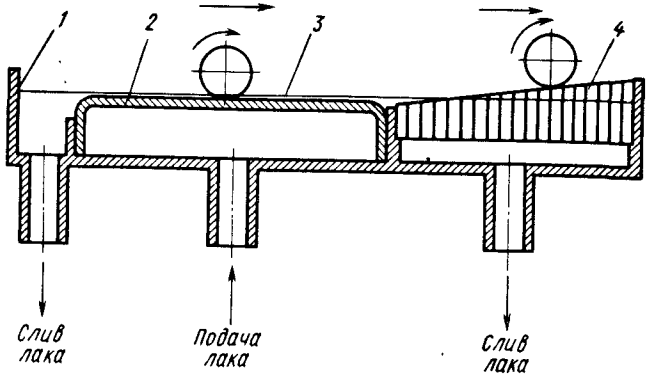


Рис. 47. Нанесение слоя защитного лака на поверхность конденсатора:
1 – ванночка с лаком, *2* – подставка, *3* – уровень лака, *4* – решетка

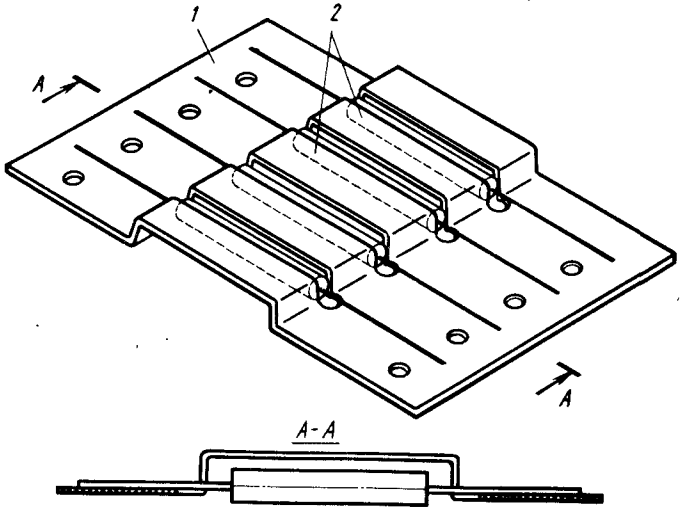


Рис. 48. Упаковка конденсаторов в картонажку:
1 – картонная лента, *2* – конденсаторы

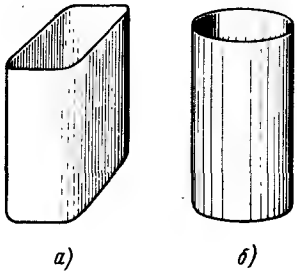


Рис. 49. Корпуса бумажных конденсаторов: *а* – прямоугольный, *б* – цилиндрический

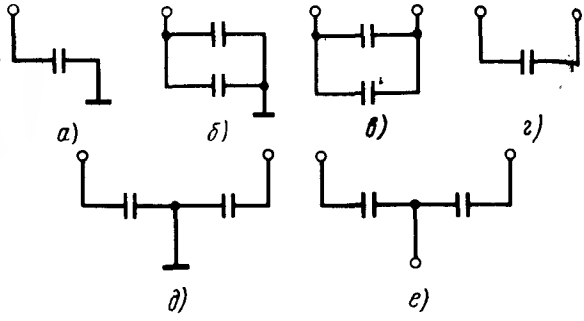


Рис. 50. Схемы соединений секций бумажных конденсаторов КБГ-МН при сборке: *а, б* – с одним выводом, *в, г, д* – с двумя выводами, *е* – с тремя выводами

Прокладки и обертки заготовляют заранее. Обертки подгоняют так, чтобы они на 1–2 мм выступали над поверхностью торца секции. Вначале, уложив с широких сторон секций необходимое количество прокладок, обертывают их кабельной бумагой и заключают в металлический корпус. Количество прокладок определяет мастер на основании предварительной проверки средней емкости контрольных секций. По мере надобности можно вставлять прокладки между оберткой и корпусом сначала с широких сторон секций, а затем по узким. Поверх секций кладут талон с номером рабочего-сборщика.

При сборке конденсаторов из нескольких секций с внешними выводами жгутики выводов от каждой секции должны быть скручены согласно указаниям чертежа. При сборке блочных конденсаторов на выводы следует надеть предварительно нарезанные по шаблону изоляционные трубки. Конденсаторы, собранные из секций с ленточными выводами, передают на пайку жгутиков к выводам.

Перед надеванием на корпус крышки поверх секций для уплотнения укладывают определенное число картонных прокладок. Проволочные жгутики выводов расправляют и пропускают через отверстия в первой прокладке. Эта прокладка имеет малые по диаметру отверстия. Далее укладывают в корпус прокладки с большими отверстиями, пропуская через них выводы и подтягивая их так, чтобы не оставалось петель под прокладками. Вывод заземления, если он имеется, пропускают между прокладками и стенкой корпуса и отгибают на корпус. Количество верхних прокладок должно быть таким, чтобы при нажатии на них пальцем расстояние по высоте от края корпуса до прокладок составляло 1–1,5 мм.

Затем в конденсатор укладывают заранее заготовленный припой для последующей выскочастотной пайки шва между крышкой и корпусом. Для этого на верхние прокладки равномерно по внутреннему периметру корпуса укладывают рамку из проволочного припоя, стараясь его расположить так, чтобы он возможно ближе прилегал к стенкам. Необходимо

следить, чтобы концы рамки припоя не отгибались внутрь корпуса, а зазор между ними был не более 1 мм.

После укладки проволочного припоя проволочки выводов продевают через трубочки изоляторов, впаянных в крышку, которую без перекосов надевают на корпус. Собранные конденсаторы отправляют на проверку правильности сборки, которую проводят выборочно (1–2%), одновременно контролируя соответствие всех использованных при сборке деталей чертежам. Емкость и тангенс угла диэлектрических потерь проверяют у 10% собранных конденсаторов, сравнивая их с данными графиков и таблиц. Измерения обычно выполняют при низкой частоте на мосте МТЕ. Все 100% конденсаторов должны быть проверены на отсутствие замыканий между корпусом и выводами. Годные конденсаторы передают на операцию пайки крышки к корпусу, которую выполняют токами высокой частоты.

Окончив сборку, проверяют электрические параметры конденсаторов: емкость, электрическую прочность, сопротивление изоляции, ТКЕ и др. Так как операции контроля параметров одинаковы для всех типов конденсаторов, они будут рассмотрены далее, в главе шестой.

Контрольные вопросы

1. Как устроен намоточный станок?
2. Что такое обычная и безындукционная намотки?
3. Почему при намотке пленочных конденсаторов в производственном помещении необходимо соблюдать чистоту?
4. Как опрессовывают секции?
5. Какие пропиточные материалы вы знаете?
6. Какие припои и флюсы используют в производстве конденсаторов?
7. Для чего бумажные конденсаторы подвергают вакуумной сушке?
8. Каков принцип действия автоматической линии вакуумной сушки и пропитки бумажных кондеисаторов?
9. Какие способы обезжиривания конденсаторов вы знаете?
10. Какими методами проверяют герметичиость конденсаторов?
11. Как окрашивают, маркируют и упаковывают конденсаторы?

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

§ 32. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Электролитические конденсаторы применяются в различных элементах электро- и радиоизмерительных схем в качестве фильтров цепей питания, шунтирующих и развязывающих цепей, емкостных накопителей и подразделяются на низковольтные, работающие в диапазоне напряжений от 1,5 до 63 В, средневольтные (от 100 до 160В) и высоковольтные (от 250 до 450 В). Основным достоинством конденсаторов этого типа является большая удельная емкость. Сопоставление объемов конденсаторов одной ем-

кости, но с разными диэлектриками показано на рис. 51. Электролитические конденсаторы полярные. В качестве одной обкладки, называемой анодом, служит металлическая фольга (алюминиевая, танталовая) или таблетка (из порошка тантала, ниобия, алюминия), а в качестве другой, называемой катодом, – жидкий электролит или твердый полупроводник (обычно диоксид марганца). Функцию токопровода от электролита к выводу выполняет катодная фольга. Роль диэлектрика выполняет оксидная пленка, образующаяся на поверхности анода (фольги или зернах таблетки). Толщина оксидной пленки может изменяться от 0,01 до 1,5 мкм, что позволяет получать электролитические конденсаторы небольших габаритов.

В зависимости от того, из какого металла изготовляют анод, на котором выращивают оксидную пленку, электролитические конденсаторы можно разделить на алюминиевые, танталовые и ниобиевые, а по конструкции – на фольговые и объемно-пористые, которые подразделяют на жидкостные и оксидно-полупроводниковые.

Чтобы получить большую удельную емкость конденсатора, необходимо иметь достаточно большую площадь анодной обкладки. Для этого гладкую алюминиевую фольгу (рис. 52,*а*) подвергают травлению и формовке. При травлении образуется развитая поверхность, а при формовке – оксидная пленка на ней (рис. 52,*б*). Структура секции алюминиевого электролитического конденсатора показана на рис. 53.

Еще большую активную поверхность имеют объемно-пористые электролитические конденсаторы, анод которых выполнен в виде таблетки из порошка тантала, ниобия или алюминия. Предварительно порошок прессуют и спекают, в результате чего образуется твердое пористое тело, обладающее максимально увеличенной поверхностью. После обжига таблетку оксидируют электрохимическим способом для образования оксидной пленки на зернах (рис. 54). Для создания второй обкладки (катода) оксидированную таблетку помещают в жидкий электролит, который контактирует с металлическим корпусом (жидкостные конденсаторы), или пиролитическим способом на поверхность зерен наносят слой диоксида марганца (оксидно-полупроводниковые конденсаторы).

В обоих случаях анод помещают в герметичный корпус. Конструкция и технология изготовления алюминиевых фольговых электролитических конденсаторов такие же, как бумажных.

Технологии производства танталовых и ниобиевых оксидно-полупроводниковых жидкостных конденсаторов в основном одинаковы и имеют ряд специфических операций: прессовку, высокотемпературное спекание в вакууме и оксидирование анодов, пиролитическое нанесение слоя диоксида марганца, серебрение, меднение и лужение этого слоя.

Анодные таблетки при выполнении операций требуют осторожного обращения и высокой чистоты, поэтому для передачи их с одной операции на другую используют специальную межоперационную тару.

Технология производства алюминиевых оксидно-полупроводниковых конденсаторов аналогична технологии изготовления танталовых; разница состоит лишь в технологических режимах. По техническим характеристикам лучшими из оксидно-полупроводниковых конденсаторов (в основном по току утечки) являются танталовые, но тантал дефицитен, поэтому более

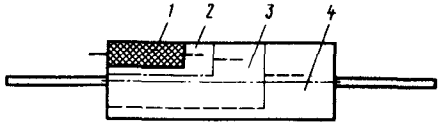


Рис. 51. Сопоставление объемов конденсаторов одной емкости с различными диэлектриками:
1 – объемно-пористый, *2* – алюминиевый электролитический, *3* – металлобумажный, *4* – бумажный фольговый

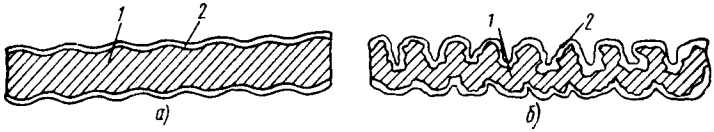


Рис. 52. Структура алюминиевой фольги:
а – гладкая, *б* – травленая и формованная; *1* – алюминий, *2* – оксидный слой

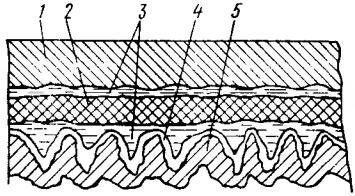


Рис. 53. Структура секции алюминиевого электролитического конденсатора:
1, 5 – алюминиевая фольга (катод и анод), *2* – бумага, *3* – электролит, *4* – оксидный слой

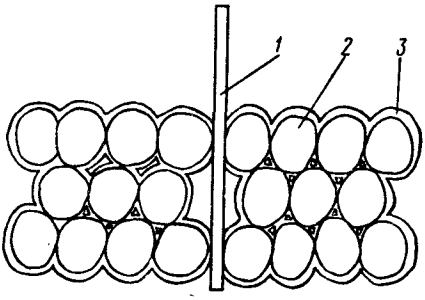


Рис. 54. Структура анода объемно-пористого электролитического конденсатора:
1 – вывод, *2* – зерно, *3* – оксидная пленка на зерне

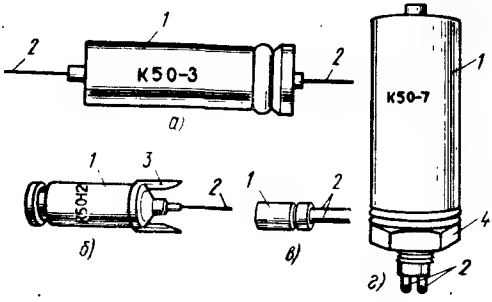


Рис. 55. Электролитические алюминиевые конденсаторы:
а – К50-3, *б* – К50-12, *в* – К50-6, *г* – К50-7; *1* – корпус, *2* – внешние выводы, *3*, *4* – монтажные шайба и гайка

распространены ниобиевые. Алюминиевые конденсаторы дешевле танталовых и ниобиевых, но имеют большие токи утечки и поэтому применяются ограниченно.

Электролитические алюминиевые фольговые конденсаторы (рис. 55,*а–г*) в зависимости от конструкции могут иметь разнонаправленные (К50-12, К50-15, К50-24, К50-29) и однонаправленные (К50-6, К50-7, К50-16, К50-35) выводы и по количеству секций делятся на односекционные и многосекционные (блоки).

Эти конденсаторы состоят из алюминиевого корпуса цилиндрической формы, секции, проволочных или фольговых внутренних выводов, уплотняющего элемента, выполненного в виде резиновой шайбы или крышки из полимерного материала, и внешних проволочных, лепестковых или резьбовых выводов. Для фиксации секции ее торцы обжимают имеющимися в дне корпуса и торце крышки специальными ребрами.

Основой алюминиевого конденсатора является секция, которая намотана с двух или более бумажных лент, пропитанных электролитом, катодной неоксидированной травленой фольги, являющейся токоотводом от электролита, и анодной оксидированной фольги. К лентам анодной фольги приваривают выводы из алюминиевой фольги толщиной 0,1–0,15 мм или проволоки диаметром 0,8; 1,2; 1,6 и 2 мм. Конец проволочного вывода, прикрепляемый к фольге, как правило, предварительно плющат до толщины 0,1–0,3 мм.

Конденсаторы К50-6 выпускаются трех вариантов исполнений. Первые два варианта, предназначенные для схем с печатным монтажом, имеют проволочные выводы и крепятся за них, а третий вариант с лепестковыми выводами имеет большие габариты и крепится в аппаратуре специальным хомутом. Конденсаторы К50-6 выпускаются 62 номиналов емкостью от 1 до 1000 мкФ на номинальные напряжения от 6,3 до 160В. Диаметр этих конденсаторов от 4 до 34 мм, а высота от 13 до 75 мм; диапазон рабочих температур от -10 до $+70^{\circ}$С.

Конденсаторы К50-7 являются продолжением серии конденсаторов К50-6 в сторону высоких напряжений и выпускаются 38 номиналов (26 односекционные и 12 двухсекционные) емкостью от 5 до 500 мкФ на номинальные напряжения от 160 до 450 В (односекционные) и от 50 до 450 В (двухсекционные). Эти конденсаторы крепят гайкой, навинчиваемой на резьбовую часть их крышки.

Конденсаторы К50-12 выпускаются 67 номиналов (3 двухсекционные) емкостью от 1 до 5000 мкФ на номинальные напряжения от 6,3 до 450 В. Конденсаторы диаметром от 4,5 до 8,5 мм имеют проволочные разнонаправленные выводы диаметром от 12 до 17 мм и крепятся в аппаратуре специальной шайбой с тремя выступами, а конденсаторы диаметром от 25 до 32 мм со стержневым выводом – гайкой.

Конденсаторы К50-16, как и конденсаторы К50-6, выпускаются трех вариантов исполнения, не отличаются от конденсаторов К50-6 шкалой номинальных емкостей, но имеют меньшие габариты для равной емкости.

Электролитические танталовые объемно-пористые конденсаторы имеют наибольшую среди всех электролитических конденсаторов удельную емкость. Применение в качестве анодов по-

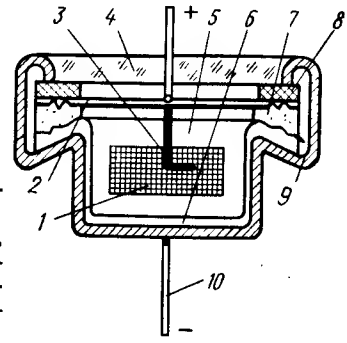


Рис. 56. Электролитический танталовый конденсатор ЭТО:
1 – анодная таблетка, *2* – танталовая крышка, *3, 10* – анодный и катодный выводы, *4* – эпоксидная смола, *5* – электролит, *6, 9* – серебряный и стальной корпуса, *7, 8* – упругие изоляционные прокладки

ристых таблеток позволяет получать в них поверхности площадью до 1000 см^2, что в сочетании с высокими диэлектрическими свойствами оксидной пленки обусловливает наименьшие размеры этих конденсаторов.

Жидкостные танталовые конденсаторы ЭТО-1 и ЭТО-2 изготовляются на рабочие напряжения до 90 В, ЭТО-3 – на напряжения 150–400 В, а ЭТО-4 – на напряжения 150–600 В. Рабочие емкости конденсаторов ЭТО-1 – от 10 до 80 мкФ, ЭТО-2 – от 100 до 1000 мкФ, ЭТО-3 – от 2 до 5 мкФ и ЭТО-4 – от 10 до 50 мкФ.

Конденсаторы ЭТО (рис. 56) состоят из пористой танталовой анодной таблетки *1*, в которую одним концом впрессован танталовый проволочный анодный вывод *3*, приваренный другим концом к танталовой крышке *2*. С внешней стороны к танталовой крышке приварен танталовый вывод, а к нему медный вывод (за пределами корпуса). Анодная таблетка *1* конденсаторов ЭТО-1 и ЭТО-2 толщиной 3 мм имеет соответственно диаметр 4,5 и 14,5 мм и погружена в рабочий электролит *5*, залитый в тонкостенный серебряный корпус *6*. В качестве электролита применяется 35–38%-ный раствор серной кислоты. Внутреннюю поверхность корпуса протравливают и покрывают проводящими мелкодисперсными материалами и металлами. Серебряный корпус имеет в верхней части фланец под упругую герметизирующую прокладку *7*, на которую монтируется танталовая крышка. Этот корпус, прокладка *7* и танталовая крышка для придания конденсатору механической прочности монтируются в стальной корпус *9*. Предварительно на внешнюю поверхность танталовой крышки укладывают изоляционную прокладку *8*.

Соединяя последовательно в батареи конденсаторы ЭТО-1 и ЭТО-2, получают конденсаторы ЭТО-3 и ЭТО-4.

Оксидно-полупроводниковые электролитические конденсаторы являются сравнительно новым типом конденсаторов с объемно-пористым анодом, в которых жидкий электролит заменен твердым электронным полупроводником. Анод, как уже отмечалось, изготовляют из порошков тантала, ниобия или алюминия, а в качестве электролита используют диоксид марганца.

Оксидно-полупроводниковый конденсатор (рис. 57) состоит из анодной таблетки *1*, изоляционной шайбы *3* и стеклянного изолятора *4*, встав-

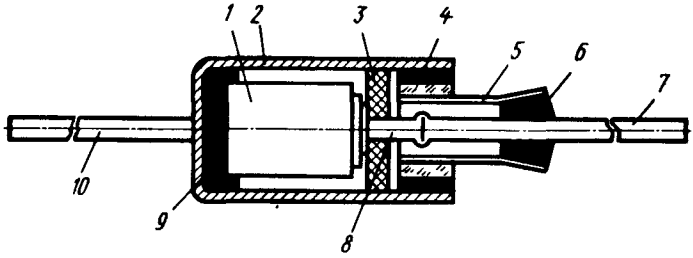


Рис. 57. Оксидно-полупроводниковый конденсатор К53-4:
1 – анодная таблетка, *2* – корпус, *3* – изоляционная шайба, *4* – стеклянный изолятор, *5, 6, 9* – припой, *7, 8, 10* – внешние и анодные выводы

ленных в стальной луженый корпус *2*. На анодную таблетку из порошка тантала, ниобия или алюминия последовательно нанесены образующие катодный вывод слои диоксида марганца и аквадага (раствора графита в воде), а также контактный слой металла (серебра). Катодный вывод соединяется с корпусом *2* припоем *9*. Анодный вывод *8* проходит через стеклянный изолятор *4*, впаянный в корпус. Трубочка *5* этого изолятора, через которую проходит один внешний медный луженый вывод *7*, запаяна припоем *6*. Другой внешний вывод *10* приваривается к дну корпуса.

Ниобиевые конденсаторы К53-4 выпускаются пяти габаритов 39 номиналов емкостью от 47 до 100 мкФ на номинальные напряжения 6, 15 и 20 В. Допустимые отклонения емкости ±10%, ±20% и ±30%. Эти конденсаторы имеют диаметр от 3,2 до 7,2 мм и длину от 7,5 до 16 мм.

§ 33. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В производстве алюминиевых электролитических конденсаторов используют большую номенклатуру материалов высокой химической чистоты, что обеспечивает надежную работу конденсаторов в течение всего срока службы при самых тяжелых температурных и климатических условиях.

Следует отметить, что все используемые материалы должны иметь паспорта, гарантирующие качество. При наличии отклонений необходимо сообщать об этом мастеру и до получения разрешения не применять материал.

Прокладочные материалы – бумага и ткани. В электролитических конденсаторах с ленточными анодом и катодом важную роль выполняют элементы из волокнистых прокладочных материалов – специальных сортов бумаги, а в отдельных случаях – из хлопчатобумажных тканей и шелка.

К прокладочным материалам предъявляют жесткие требования на отсутствие в них примесей, загрязняющих электролит, особенно ионов Cl' и SO_4''. Как правило, количество хлоридов и сульфатов в пересчете на Cl' и SO_4'' не должно, соответственно, превышать 0,0025–0,003 и 0,004–0,005%. Количество примесей определяют при входном контроле, перед запуском партии прокладочных материалов в производстве. В производстве электролитических конденсаторов наиболее широко используют бумагу КЭ-10,

КЭ-13, КЭ-27, КЭ-35, КЭ-55, КЭ-75, КЭ-95 (где буквы обозначают: К – конденсаторная бумага, Э – для электролитических конденсаторов, а цифры 10–95 – толщину бумаги, мкм).

Одним из показателей чистоты бумаги является зольность, определяющая наличие загрязнений в виде металлов и их солей. Содержание железа и его солей в бумаге не должно превышать 0,025%, а меди и ее солей – 0,005%; присутствие водорастворимых солей других тяжелых металлов должно быть минимально.

Проницаемость прокладочных материалов, особенно бумаги, контролируют по косвенным характеристикам, которыми являются плотность и впитываемость.

Алюминиевая фольга. От качества анодной и катодной фольги практически зависят все параметры алюминиевых фольговых конденсаторов, поэтому к химической чистоте фольговых материалов предъявляют повышенные требования. Наиболее вредными примесями являются примеси железа, кремния, меди и других металлов. В настоящее время промышленностью выпускается особо чистая алюминиевая фольга нескольких марок.

Электролиты. В производстве электролитических конденсаторов используются три вида электролитов: травильные, формовочные и рабочие. В травильных электролитах обрабатывают алюминиевую фольгу для образования пористой поверхности. Формовочные электролиты применяют при электрохимическом оксидировании (формовке) фольги для создания на ее поверхности алюминиевой оксидной пленки. Рабочие электролиты обеспечивают нормальную работу конденсатора после сборки. К химической чистоте материалов, применяемых для приготовления электролитов, предъявляют очень жесткие требования.

Основными материалами для приготовления электролитов служат борная кислота H_3BO_3, бура $N_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, пентаборат аммония $(NH_4)_2 \cdot B_{10}O_{16} \cdot 8H_2O$, гидроокись аммония NH_4OH, этиленгликоль $C_2H_2(OH)_2$, этиленовый спирт C_2H_5OH, вода H_2O и др.

Наиболее опасно присутствие в электролитах ионов Cl' и SO_4'', являющихся анионами. Наличие в электролите хлора в количестве 0,003% прекращает процесс формовки фольги. Если в рабочем электролите присутствует Cl' в количество 0,0005%, срок службы конденсаторов сокращается в десятки раз по сравнению с конденсаторами, в электролите которых количество ионов Cl' не превышает 0,0001%. Ионы SO_4'' при прохождении тока образуют на поверхности анода пористый слой проводящего оксида алюминия, что существенно уменьшает срок службы конденсаторов.

Подобные требования по предельному содержанию примесей предъявляют также к буре, пентаборату аммония, аммиаку и другим компонентам, используемым для приготовления электролитов.

Поскольку этиленгликоль входит в состав рабочих электролитов, требования к его чистоте очень жесткие. В этиленгликоле, используемом для приготовления рабочих электролитов, вредные примеси (%) должны составлять не более:

Хлор (ионы и связанный в соединениях)	0,0001
Сульфаты	0,0005

Железо	0,0005
Зольность	0,003

При этом удельная масса этиленгликоля должна лежать в пределах от 1,09 до 1,11.

Вода. В состав формовочных и рабочих электролитов входит вода, которая используется также при всевозможных промывках в производстве конденсаторов. Поэтому к чистоте воды, содержанию в ней хлоридов и сульфидов предъявляют жесткие требования. В производстве конденсаторов используют воду двукратной дистилляции или деионизованную воду, очищаемую с помощью ионообменных смол. Чистота деионизованной воды составляет 99,99999%, или $2{,}6 \cdot 10^{15}$ ионов/см^3. При анионном и катионном обмене ионы металлоидов извлекаются с помощью смол.

Проводимость или электрическое сопротивление воды характеризует степень ее очистки: чем меньше ионных примесей, тем электрическое сопротивление выше. Ионообменную очистку воды выполняют на установках централизованных станций в две стадии. На первой стадии вода очищается до удельного сопротивления 2–3 МОм · см, а на второй – до необходимого удельного сопротивления.

Металлические порошки. При изготовлении танталовых, ниобиевых и алюминиевых конденсаторов с объемно-пористым анодом применяют соответственно порошки тантала, ниобия или алюминия.

Для изготовления анодов танталовых конденсаторов используют различные материалы: фольгу, проволоку, порошки. Так как примеси оказывают влияние на токи утечки, тангенс угла потерь и емкость конденсаторов, чистота танталовых материалов должна быть высокой. Качество анода зависит от содержания в танталовом порошке примесей железа, меди, кремния, кальция, алюминия, магния, олова, хрома, никеля, ниобия, титана, а также углерода, кислорода и азота. Для изготовления анодов конденсаторов применяют материалы, содержащие 99,92–99,94% тантала.

При спекании прессованной таблетки в вакуумных печах происходит дальнейшая очистка тантала, причем чем выше температура и степень откачки печи, тем меньше остается примесей. Обычно спекание проводят при 2000° С и давлении $1{,}33 \cdot 10^{-4} \div 1{,}33 \cdot 10^{-5}$ Па.

Углерод оказывает существенное влияние на ток утечки и срок службы конденсаторов, а кислород влияет на механические характеристики танталовых анодов. Избыток кислорода увеличивает хрупкость таблеток. При температуре порядка 1600° С углерод и кислород вступают в реакцию с образованием CO.

При повышенном содержании углерода в танталовых порошках в них добавляют кислород в виде легко летучих окислов металлов, испаряющихся при термической обработке, а при повышенном содержании кислорода – сажу или карбиды. Добавки следует вводить с таким расчетом, чтобы содержание углерода не оказывало более вредного влияния на параметры будущего конденсатора. В порошках, применяемых для изготовления анодов, содержание примесей металлов не должно превышать 0,001% по массе, углерода – 0,002, кислорода и азота – 0,02%.

Существенное влияние на параметры конденсаторов оказывают размеры зерен порошка. Танталовые порошки, используемые для анодов конденсаторов, имеют сложный фракционный состав. Наиболее часто применяют порошки, 40–45% зерен которых имеют размеры от 3 до 30 мкм, 45–55% – от 30 до 60 мкм и 60–90 мкм и 10–5% – от 60 до 90 мкм, а в отдельных случаях порошки с размером зерен от 60 до 100 мкм.

Связующие вещества и химические реактивы. При изготовлении анодов конденсаторов из танталовых порошков используют связующие вещества в виде камфоры, раствора парафина в бензине, растворов серной кислоты. Концентрация кислоты в формовочном электролите составляет 70%. Кроме серной кислоты в качестве формовочных электролитов применяют раствор ортофосфорной кислоты. Все кислоты и растворы для электролитов приготавливают из химически чистых соединений.

Герметизируют жидкостные конденсаторы деталями, изготовляемыми из фторопласта-4 и других химически- и термостойких материалов.

При изготовлении конденсаторов с оксидно-полупроводниковым катодом используют такие же материалы, и такой же чистоты, что и при изготовлении конденсаторов с объемно-пористым анодом. Жидкий электролит в этом случае заменяется слоем электронного диоксида марганца MnO_2, получаемого пиролитическим разложением раствора азотнокислого марганца, нанесенного на пористый анод. К растворам азотнокислого марганца предъявляют более высокие требования по чистоте, чем к кислотам, применяемым в качестве рабочих электролитов.

Коиструкционные материалы. В производстве электролитических конденсаторов используют медь, а также оловянно-свинцовые припои для соединения катода с внешним выводом при достаточно низком переходном сопротивлении. Чтобы обеспечить достаточную герметичность конденсаторов, используют детали из резины или пластмасс. В отдельных случаях (конденсаторы К50-6) герметичность обеспечивают дополнительной заливкой на резиновую прокладку эпоксидной смолы. В некоторых конструкциях роль крышки выполняет резиновая букса, армированная фторопластовыми шайбами, или резиновая втулка, монтируемая на внешний алюминиевый анодный вывод.

Внешние выводы конденсаторов изготовляются из медной облуженной проволоки или сталемедного провода ПБВ. Примерами могут служить конденсаторы К50-15, К50-24 и К50-6 III.

Следовательно, требования к химической чистоте конструкционных материалов, применяемых при изготовлении деталей конденсаторов и их очистке, такие же как к материалам для изготовления секций.

Обычно перед сборкой детали тщательно промывают в горячей обессоленной воде в ультразвуковых ваннах. Детали, выполненные из резин различных марок, очищают кипячением в обессоленной воде либо в слабых растворах буры или аммиака. При этом воду и растворы следует заменять и контролировать на наличие ионов Cl' и SO_4''. Детали считаются очищенными, если в растворе после последнего кипячения содержание ионов Cl' и SO_4'' не превышает соответственно 0,0003 и 0,001%. После кипячения детали промывают холодной деионизованной водой.

§ 34. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ

Для многократного увеличения активной поверхности алюминиевой фольги (анодной низковольтной – в 50–60 раз, высоковольтной – в 10–12 раз, а катодной – более чем в 100 раз) и образования оксидного слоя ее подвергают специальной электрохимической обработке: крацовке, травлению и формовке.

Активная поверхность фольги характеризуется удельной емкостью. При крацовке разрушается естественный слой оксида алюминия на поверхности исходной фольги и улучшаются условия последующего травления. Операцию выполняют на специальном крацовочном станке, состоящем из протяжного механизма и двух прилегающих друг к другу цилиндрических щеток из стальной проволоки, вращающихся с большой частотой в противоположные стороны. Затем для увеличения активной поверхности фольгу подвергают электрохимическому травлению.

Электрохимическое травление состоит в разрушении поверхности фольги в результате реакции алюминия с хлором, полученным при электролизе электролита во время прохождения через него постоянного тока. После травления фольга вследствие образования впадин и выступов приобретает более развитую поверхность. В травильный электролит вводят сернокислый натрий и поверхностно-активные вещества, которые увеличивают степень травления, снижают поверхностное натяжение и повышают смачиваемость фольги. Эту операцию выполняют на специальном агрегате травления (рис. 58), состоящем из шести последовательно установленных ванн, сушильного устройства и протяжного механизма.

При травлении крацованная фольга с размоточного устройства *1* проходит через систему ведомых валиков *2* и перед входом в ванну травления скользит по бронзовому аноду *3*, с которого на нее от выпрямителя подается положительный потенциал. Затем фольга погружается в электролит и проходит между медными пластинами *4* катода, на которые от выпрямителя подается отрицательный потенциал. В ванне травления *5* под действием электрического тока происходит основной процесс взаимодействия алюминия с хлором.

После выхода из ванны травления фольга проходит ванну промывки водопроводной водой *6*, а затем – дехлоратор *7* с электродами *8* из платинированного титана. На эти электроды от другого выпрямителя подается положительный потенциал, а на фольгу – отрицательный. В результате взаимодействия электрических зарядов ионы хлора, несущие отрицательный заряд, извлекаются из пор фольги и уносятся проточной водой. Высокоемкостную фольгу дополнительно очищают от ионов хлора и продуктов травления в растворе азотной кислоты. Окончательно фольга промывается в обессоленной воде в трех ваннах *9*, *10* и *11*, затем сушится в сушильном устройстве *12* и сматывается в рулон на намоточном барабане *13*.

В зависимости от назначения травления фольга различной удельной емкости (от 43 до 2500 мкФ/дм^2) бывает низко, средне- и высоковольтной. Это достигается изменением тока от 3000 до 6000 А, содержания в электролите поваренной соли и сернокислого натрия, температуры от 70 до 90°С, скорости движения фольги и расстояния между пластинами катода при ее

обработке. Значения этих параметров для каждого режима травления обычно приводятся в специальных таблицах.

Для образования на поверхности фольги оксидного слоя проводят формовку (электрохимическое оксидирование), которая состоит в окислении алюминия кислородом, выделяющимся в результате электролиза формовочного электролита под действием электрического тока. Толщина образующегося оксидного слоя находится в прямой зависимости от формовочного напряжения.

Формовку выполняют на агрегате (рис. 59), который состоит из шести

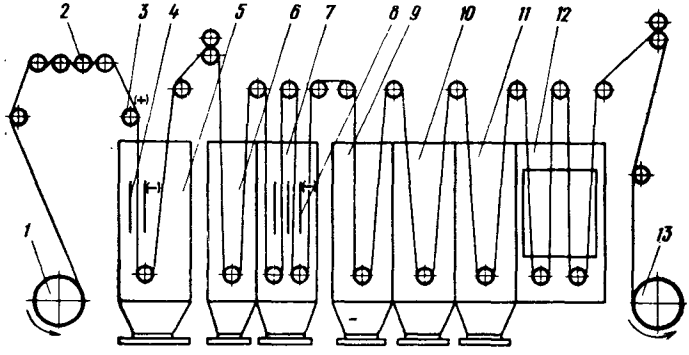


Рис. 58. Схема агрегата травления:
1 – размоточное устройство, *2* – ведомые валики, *3* – анод, *4* – медные пластины катода, *5, 6* – ванны травления и промывки водопроводной водой, *7* – дехлоратор, *8* – титановые электроды, *9, 10, 11* – ванны промывки в обессоленной воде, *12* – сушильное устройство, *13* – намоточный барабан

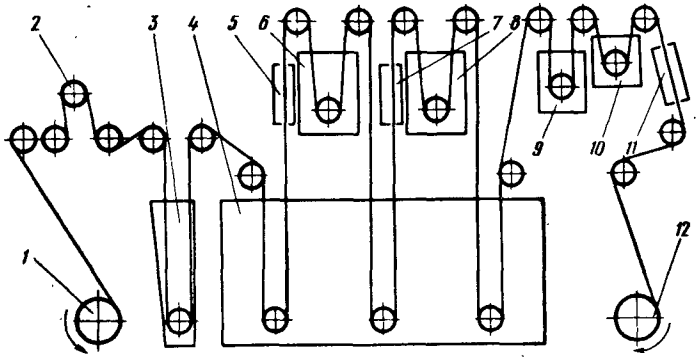


Рис. 59. Схема агрегата формовки:
1 – перемоточный механизм, *2* – ведомые валики, *3, 4* – ванны предформовки и формовки, *5, 7* – печи отжига, *6, 8* – ванны сверхформовки, *9, 10* – ванны пассирования и промывки, *11* – сушильное устройство, *12* – валик протяжного механизма

ванн, двух печей отжига, сушильного устройства, перемоточного механизма и системы направляющих валиков. Первые две ванны — предформовки и формовки установлены последовательно; остальные ванны, а также печи и сушильное устройство расположены над ванной формовки. При формовке фольга с перемоточного механизма *1* через ведомые валики *2* попадает в ванну предформовки *3* с обессоленной водой, а из нее – в ванну формовки *4* с электролитом. В ванне *4* на фольгу подается постоянный ток соответствующего напряжения. Далее, проходя через первую печь отжига *5* и огибая ролик, фольга попадает в первую ванну сверхформовки *6* с электролитом, выходит из нее и вторично поступает в ванну формовки *4*. Затем, пройдя через вторую печь отжига *7* и огибая ролик, фольга поступает во вторую ванну сверхформовки *8* и, выйдя из нее, в третий раз проходит ванну формовки *4*. После этого фольга последовательно проходит ванны пассивирования *9* с раствором однозамещенного фосфата аммония, промывки *10* и сушильное устройство *11*, после чего наматывается на валик *12* протяжного механизма. Для изменения режимов формовки различной фольги, как и травления, регулируют концентрацию раствора в ванне формовки, температуру электролитов, отжига, скорость движения фольги и подаваемое напряжение.

Для поддержания режимов травления и формовки в заданных пределах применяют автоматизированные системы управления технологическим процессом с ЭВМ.

§ 35. НАМОТКА И ПРОПИТКА СЕКЦИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

При изготовлении секций сухих электролитических конденсаторов используют анодную оксидированную и катодную неоксидированную фольгу, а также бумажные или тканевые прокладки. Ленты катодной фольги должны быть на 2–3 мм шире лент анодной, а прокладки – на 5–6 мм шире лент катодной фольги.

Изготовляют секции электролитических конденсаторов на различных механизированных и автоматизированных агрегатах. Так, на агрегате 8338 (рис. 60) все технологические операции выполняются вокруг шестипозиционной планшайбы, которая совершает за каждый цикл работы поворот на $^1/_6$ окружности, перемещая заготовленные детали секций с одной позиции на другую. Тем самым одновременно выполняется не менее шести операций.

На первой позиции планшайбы *13* из выходного лотка вибробункера *12* специальными лапками манипулятора *11* захватывается и передается для насадки на анод резиновая втулка. Из другого вибробункера *7* через питатель специальным механизмом подается анод (алюминиевый стержень), который рычажным отсекателем укладывается на горизонтальную плоскость канала и заталкивается в резиновую втулку. Затем анод подается в раскрытый цанговый шпиндель и зажимается с сидящей на нем резиновой втулкой. Поворачиваясь на $^1/_6$ оборота, планшайба *13* перемещает все шесть цанговых шпинделей на следующую позицию.

На второй позиции механизм *10* подачи анода перемещает конец анодной фольги к выводу, зажатому в цанговом шпинделе. При этом горизон-

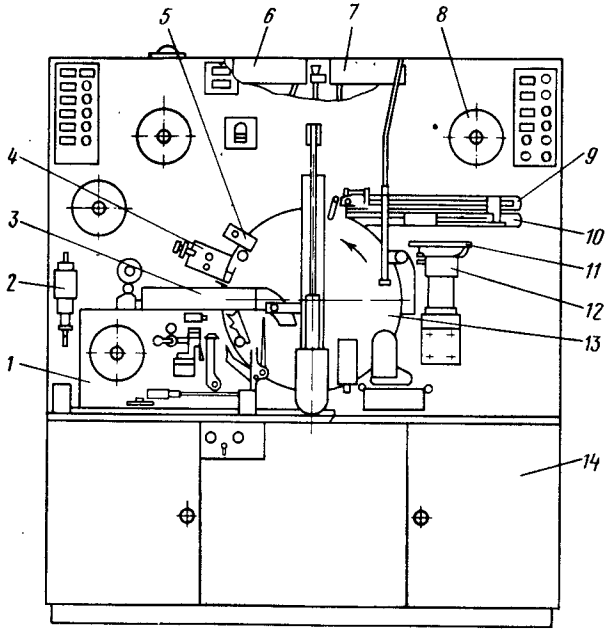


Рис. 60. Автоматизированный агрегат 8338 намотки секций электролитических конденсаторов:
1, 3, 4 – механизмы подачи катода, прокладки и вкладыша, *2* – насос, *5, 10* – механизмы контроля и подачи анода, *6, 7, 12* – вибробункеры корпусов, выводов и резиновых втулок, *8* – смоточный шпиндель, *9* – аппарат отрезки, *11* – манипулятор, *13* – планшайба, *14* – основание

тальный лоток с фольгой проходит под ножом аппарата отрезки, устанавливаемым в зависимости от длины анодной фольги. В одной плоскости с цанговым шпинделем перемещаются пуансон и матрица, которыми конец поданной анодной фольги вдавливается в тело анодного вывода, в результате чего происходит их холодная сварка. После сварки механизм подачи анода отходит от цангового шпинделя, нож аппарата отрезки *9* обрезает на заданном расстоянии конец анодной фольги, и планшайба вновь перемещается на $^1/_6$ оборота.

На третьей позиции механизм контроля *5* (фотодиод) проверяет наличие контакта вывода с анодной фольгой. Если луч перекрыт отрезком анодной фольги, перемещающейся вместе с цанговым шпинделем, работа агрегата продолжается, а если не перекрыт, т.е. сварка не произошла, один из блокирующих контактов размыкает цепь электродвигателя.

Между третьей и четвертой позициями механизмом *3* на лотки выкатывается и отрезается бумажная прокладка заданной длины. Одновременно механизмом *4* выкатывается конец бумажного вкладыша, который вместе с прокладкой прижимается к лотку и отрезается специальным ножом. Прижимной частью рычага, одновременно являющейся электрическим кон-

тактом, контролируется наличие прокладки. Если прокладка отсутствует, рычаг соприкасается с металлическим лотком и размыкает цепь питания. При перемещении вывода анода с приваренной к нему анодной фольгой с третьей позиции на четвертую анодный вывод уносит в щель лотка отрезанные ленты вкладыша и прокладки, складывая их пополам. При этом анодная фольга, охватываемая с обеих сторон отрезками бумажной прокладки и вкладыша, скользит по поверхности дугового лотка.

На четвертой позиции вывод анода, установленный одним концом в цанге шпинделя, упирается другим концом в специальную призму и, вращаясь, начинает сматывать со шпинделей *8* ленты анодной фольги и бумаги. Сначала вращение происходит с малой частотой (заправочной), а затем с большой (рабочей).

Лентозаправочный механизм *1* вначале намотки подает отрезок катодной фольги в наматываемую секцию и к ней для уплотнения прижимается упругая планка. По резиновым трубкам насосом *2* нагнетается электролит, который смачивает перемещающуюся по дуговому лотку прокладку.

Лентозаправочный механизм, нож, смоточный шпиндель и ролики подачи катода размещены на отдельной плите, установленной под углом к поверхности планшайбы. Поэтому отрезок катодной фольги заправляется под углом к оси намотки и наматывается по винтовой линии так, что его последние витки смещаются на резиновую втулку секции. Изменяя угол установки плиты, можно изменять шаг спирали катодной фольги. После намотки секция поворотом шайбы переносится на следующую позицию.

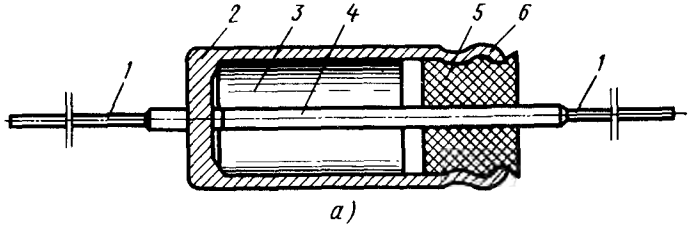
На пятой позиции ориентированно подаваемый из вибробункера *6* в питатель корпус попадает на призму перед толкателем, который надевает его на секцию, сидящую в цанге соосно с толкателем. На шестой позиции толкатель раскрывает цангу и выталкивает готовую секцию в корпусе в приемный лоток. При работе агрегата специальными устройствами контролируется наличие прокладки, обрыв лент и сброс готовой секции в лоток.

Электролитические конденсаторы, как и бумажные, в основном пропитывают в установках с баками периодического действия, но при других режимах. В последнее время разработаны и внедряются роторные машины, на которых пропитка осуществляется методом протяжки. При этом методе у одного торца секции создается вакуум, а к другому под давлением подается электролит, т.е. он втягивается в секцию с двойным усилием. Так пропитывают конденсаторы большого диаметра (25 и 32 мм).

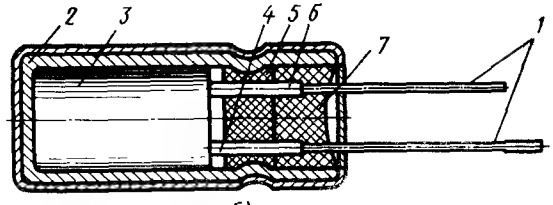
При работе машины клапаны, срабатывающие при подаче конденсаторов на определенную позицию ротора, последовательно соединяются с системами, обеспечивающими откачку воздуха из секций и подачу рабочего электролита под давлением до $1{,}9 \cdot 10^3$ кПа при 95°С. При таком же режиме конденсаторы выдерживают 30 с на других позициях. Роторные машины имеют систему сбора излишков электролита при пропитке и возврата его для повторного использования.

§ 36. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Электролитические алюминиевые конденсаторы по диаметру делятся на три группы (4,5–8,5 мм, 12–17 мм и 25–32 мм) и различаются по кон-

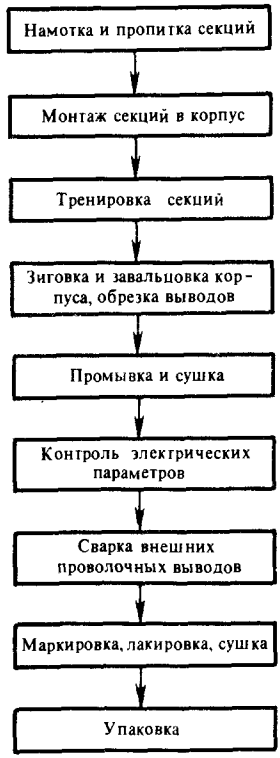


а)

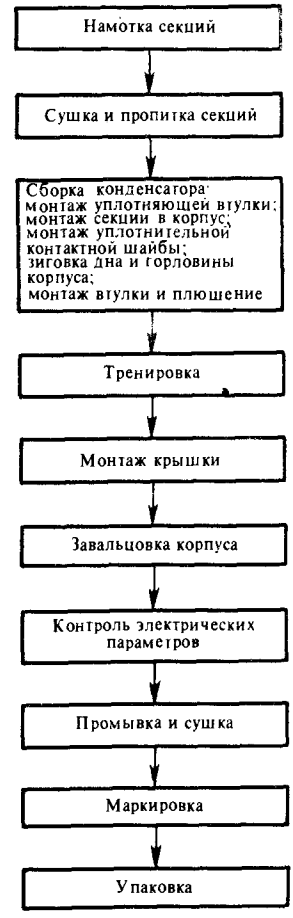


б)

Рис. 61. Алюминиевые электролитические конденсаторы с разнонаправленными (*а*) и с однонаправленными (*б*) выводами: *1* – внешние проволочные выводы, *2* – корпус, *3* – секция, *4*, *6* – анодный и катодный выводы, *5* – резиновая шайба, *7* – эпоксидная смола



а)



б)

Рис. 62. Схемы технологических процессов изготовления электролитических алюминиевых конденсаторов с разнонаправленными (*а*) и однонаправленными (*б*) выводами

струкции. Кроме того, конденсаторы диаметром 4,5–8,5 мм бывают с разнонаправленными выводами (рис. 61,*а, б*). Сборку электролитических конденсаторов ведут по различным технологическим схемам, отличающимся друг от друга оборудованием, количеством сборочных операций и последовательностью их выполнения. Применяемые для сборки конденсаторов определенных диаметров оборудование и инструмент можно переналаживать.

Схемы технологических процессов изготовления электролитических алюминиевых конденсаторов с разнонаправленными и однонаправленными выводами показаны на рис. 62,*а, б*. На сборку подаются намотанные секции. Напомним, что намотка секций конденсаторов с разнонаправленными выводами (см. рис. 61,*а*) осуществляется на автоматическом оборудовании; при этом выполняются следующие операции: монтаж резиновой уплотняющей втулки на анодный стержень и его подача в цангу намоточного шпинделя; подача анодной фольги на стержень и их холодная сварка; подача прокладок; отрезка анода заданной длины; подача катодной фольги, намотка секции с одновременной пропиткой ее рабочим электролитом; монтаж секции в корпус; сброс смонтированного конденсатора.

Намотку секций конденсаторов с однонаправленными выводами (см. рис. 61,*б*) в зависимости от их конструкции производят на автоматах, полуавтоматах и станках с ручным управлением, при этом выполняются следующие операции: подача бумаги, анодной фольги с приваренным выводом и катодной фольги; заправка бумаги в намоточную отправку; закладка анодной и катодной фольги; намотка секции; отрезка бумаги; крепление секции резиновым кольцом (липкой лентой) или клеем.

Рассмотрим технологическую схему сборки наиболее распространенных электролитических конденсаторов К50-12 диаметром 12–17 мм (рис. 63).

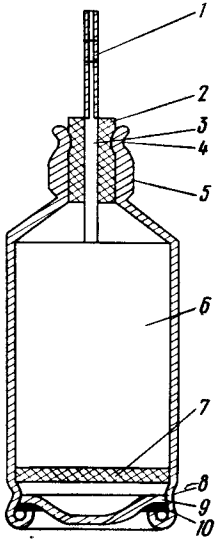


Рис. 63. Электролитический конденсатор с однонаправленным выводом:
1, 2 – медная и резиновая втулки, *3* – анодный вывод, *4, 8* – зиговки, *5* – корпус, *6* – секция, *7* – уплотнительная шайба, *9* – дно корпуса, *10* – герметик

На анодный вывод *3* секции *6*, намотанный на автомате или полуавтомате, монтируют уплотняющую резиновую втулку *2*. Затем секцию *2* вставляют в корпус *5* и поверх ее торца укладывают уплотнительную шайбу *7*. Для фиксации секции и уплотнения анодного вывода в корпусе вставляют дополнительную шайбу, прижимают ее до упора и выполняют роликом зиговку *8* корпуса. После зиговки конденсатор поворачивают горловиной вверх и выполняют зиговку *4* горловины, в результате чего создается уплотнение места выхода анодного вывода из корпуса.

Чтобы обеспечить пайку конденсатора в схеме, внешний анодный вывод из алюминия армируют медной трубкой *1*, расплющивая ее конец и высекая в нем монтажное отверстие.

Для устранения повреждений оксидного слоя фольги, появившихся при ее резке и намотке секций, на специальных стендах проводят тренировку, подавая на конденсаторы постоянное напряжение, которое медленно повышают до значений, превышающих номинальное рабочее напряжение на 15–20%. Конденсаторы выдерживают при этом напряжении и температуре 18–25°С в течение 4–6 ч. За это время ток утечки уменьшается до минимального значения. Если тренировку необходимо ускорить, на конденсаторы подают номинальное рабочее напряжение и выдерживают их 3–4 ч при повышенной температуре (60–85°С) в термостате. Качество тренировки проверяют по току утечки. Если ток утечки больше заданного, конденсаторы подвергают повторной тренировке.

После тренировки конденсаторы промывают и сушат, вставляют в корпус дно *9* с нанесенным на него слоем герметика *10* и завальцовывают. Затем конденсаторы поступают на контроль параметров, а также промывку и сушку наружной поверхности корпуса. Конденсаторы обезжиривают в моющем растворе при 85–90°С, промывают горячей проточной водой и сушат при 120°С. Промытые конденсаторы (без следов моющего раствора и других загрязнений) маркируют, сушат и упаковывают. Эти операции выполняются так же, как при производстве бумажных и пленочных конденсаторов (см. § 29, 30).

Большинство операций сборки электролитических конденсаторов выполняют на автоматических линиях роторного типа или комплексно-автоматизированных линиях, состоящих из автоматического оборудования, связанного в единый технологический цикл. Так, комплексно-автоматизированная линия производства алюминиевых конденсаторов К50-12 и К50-28 диаметром 25–32 мм, обеспечивающая автоматическое выполнение всех основных операций сборки, за исключением подачи и загрузки секций, а также корпусов, состоит из десяти единиц оборудования.

1. Роторная линия сборки включает четыре рабочих и шесть транспортных роторов, которые последовательно в автоматическом режиме выполняют следующие технологические операции: надевают на анодный вывод секции резиновую втулку, вставляют секцию и контактную шайбу в корпус, закрепляют (зигуют) секцию с контактной шайбой в корпусе кольцевой канавкой. Секции и корпуса загружаются в линию поштучно, а контактные шайбы – порциями по 500–800 шт. Передача секций в корпусах в приемный орган следующего оборудования производится автоматически.

2. Роторная машина пропитки секций методом протяжки (см. § 35).

3. Роторная машина завальцовки горловины состоит из двух транспортных и одного рабочего ротора, на котором обжимается горловина корпуса конденсатора вместе с резиновой втулкой и анодным выводом секции.

4. Роторная линия оформления анодного лепестка состоит из четырех рабочих роторов и последовательно огибающей их цепи, несущей спутники с гнездами для конденсаторов. На этой линии рихтуют и заостряют анодный вывод, надевают на него медную трубку, плющат ее и обрубают лепесток по контуру, пробивая в нем отверстие.

5. Установка тренировки состоит из непрерывно вращающейся пары вертикально замкнутых цепей, оснащенных спутниками с захватами для закрепления изделий, и контактами. При движении контакты последовательно контактируют с разделенными через резисторы участками неподвижных шин, на которые подается требуемое напряжение.

6. Система контроля электрических параметров состоит из автомата разбраковки и управляющей ЭВМ "Электроника-100И". С помощью этой системы конденсаторы разбраковываются по емкости, току утечки и тангенсу угла дизлектрических потерь на группы годности.

7. Роторная машина отбортовки состоит из двух транспортных и одного рабочего ротора, на котором отбортовывается нижний торец корпусов конденсаторов.

8. Роторная линия вкладывания и завальцовки дна состоит из четырех транспортных и трех рабочих роторов, на которых вставляется в корпуса и завальцовывается в три этапа дно конденсаторов (предварительная завальцовка, формовка конуса, окончательная завальцовка с образованием двойного завальцовочного шва).

9. Роторная машина мойки и сушки выполнена в виде вертикально замкнутой цепи с подвесками, последовательно несущими конденсаторы через ванны с 5%-ным раствором NaOH, водой и зону сушки.

10. Конвейер визуального осмотра и упаковки выполнен в виде ленточного транспортера, на который поштучно в вертикальном положении автоматически подаются конденсаторы.

§ 37. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ОБЪЕМНО-ПОРИСТЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Схема технологического процесса изготовления объемно-пористых конденсаторов приведена на рис. 64.

Прессование анодов. На операцию прессования подаются специально приготовленная смесь порошка (тантала, ниобия или алюминия) со связующими и танталовая либо ниобиевая проволока. Операция состоит в дозировании порошка для получения таблетки определенного объема, загрузке в пресс-форму проволочного вывода, прессовании таблетки, извлечении ее из пресс-формы и передаче на операцию опекания. Для прессования анодов применяют специальные механические прессы.

Спекание анодов. Эта операция, обеспечивающая удаление связующего и спекание зерен порошка для создания необходимой механической прочности таблетки, выполняется в вакуумных печах в такой последовательности.

Отпрессованные аноды загружают в специальную тару и помещают в камеру печи, которая герметизируется, а затем из нее откачивается воздух.

При давлении $(4 \div 6{,}5) \cdot 10^{-2}$ Па включают нагрев, постепенно доводят температуру в камере до 1900°С и выдерживают аноды при этой температуре 30–60 мин. Откачку воздуха и выделяющихся при спекании газов не прекращают до окончания процесса спекания; при этом давление в камере не превышает $6{,}5 \cdot 10^{-2}$ Па. После выдержки анодов при максимальной температуре камеру постепенно охлаждают до 80–100°С, прекращая откачку и напуская воздух. Затем вынимают аноды из камеры и после визуального контроля передают на операции электрохимической обработки (формовки и подформовки), промывки и сушки, нанесения полупроводниковых слоев. В настоящее время эти операции выполняют на автоматических линиях. Схема типового технологического процесса, выполняемого на одной из таких линий, приведена на рис. 65.

Обработка выполняется групповым методом. Аноды в таре подаются на операцию монтажа защитных экранов, заключающуюся в надевании шайбы из специальной резины на проволочный вывод. На последующих операциях обработки защитный экран предохраняет торец анода и часть проволочного вывода от попадания на них паров электролита. После монтажа защитной шайбы анод автоматически передается к устройству, приваривающему его к технологической рейке. Затем рейки с анодами автоматически монтируются в специальные кассеты – рамки, в которых они поступают на следующие операции.

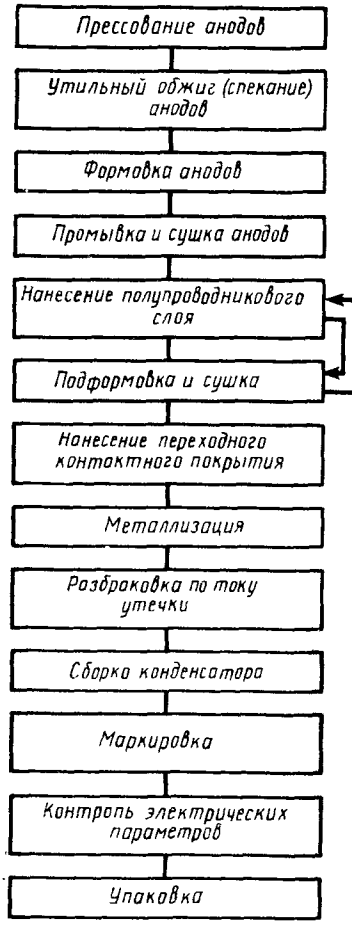


Рис. 64. Схема технологического процесса изготовления объемно-пористых конденсаторов

Технологическая схема полуавтомата монтажа защитных экранов и приварки анодов к рейкам показана на рис. 66. Оператор вручную загружает аноды в транспортную систему механизма монтажа, а рейки и рамки – в накопители и по мере накопления переносит собранные рамки в стеллаж-накопитель.

Создание оксидной пленки на поверхности зерен анода. Эта операция называется формовкой и заключается в обработке анодов в электролите (растворе ортофосфорной кислоты) при подаче на них тока от 0,1 до 15 А и напряжением от 6 до 300 В. Концентрация раствора ортофосфорной кислоты, ток и напряжение зависят от габаритов анодов и необходимых электрических параметров конденсатора.

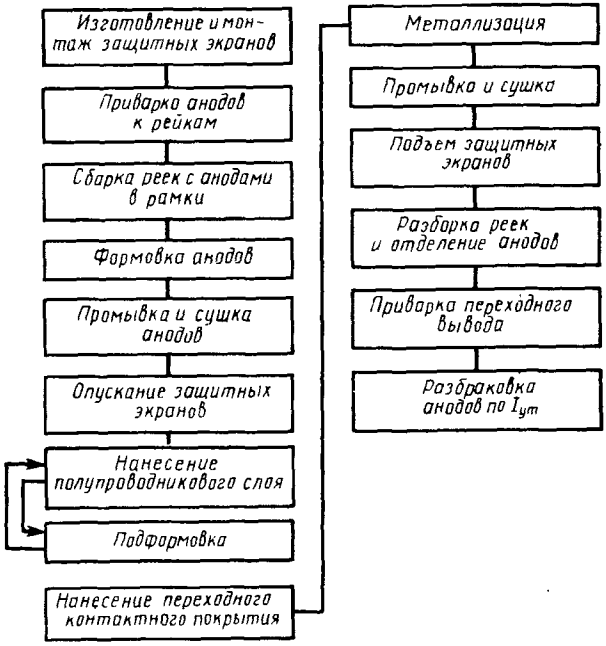


Рис. 65. Схема типового технологического процесса электрохимической обработки, анодов и нанесения полупроводниковых слоев

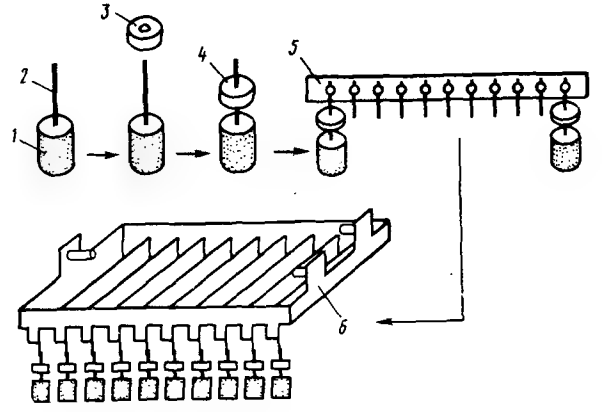


Рис. 66. Схема полуавтомата монтажа защитных экранов и приварки анодов к рейкам:
1 – анод, *2* – проволочный вывод; *3* – защитный экран, *4* – анод с защитным экраном, *5* – рейка с приваренными анодами, *6* – рамка с рейками

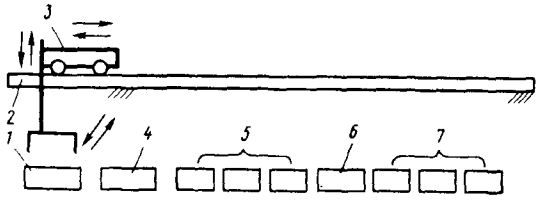


Рис. 67. Схема установки формовки:
1 – позиция загрузки, *2* – направляющая манипулятора, *3* – автоматический манипулятор, *4* – исходная позиция (разгрузка брака), *5, 7* – первый и второй блоки формовочных ванн, *6* – позиция разгрузки

Выполняют операции на установке формовки (рис. 67), которая состоит из двух блоков ванн (по 6 в каждом), в которых автоматически поддерживаются концентрация, уровень и температура электролита, а также ток и напряжение. Между блоками ванн расположено разгрузочное устройство, а в передней части установки – загрузочное, куда вручную устанавливаются рамки с анодами, которые автоматическим манипулятором перегружаются в ванны. Установка работает по сигналам автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП). В отдельных случаях ею может управлять с пульта оператор с помощью универсального источника формовочных напряжений. АСУТП обеспечивает:

автоматическую загрузку рамок с анодами в свободные ванны формовки;

автоматическую разгрузку ванны и передачу рамок с анодами на позицию разгрузки установки;

выгрузку из ванны формовки рамок, когда продолжение формовки анодов признано нецелесообразным (брак), и транспортирование рамок на исходную позицию (разгрузка брака);

расчет напряжения формовки с помощью ЭВМ "Электроника К-200" для получения анодов с заданными параметрами.

Для работы установки в ЭВМ вводят исходные данные (рабочее напряжение и емкость), указанные в задании на формовку, в соответствии с этим устанавливают на пульте необходимые режимы обработки анодов и вручную подают на позицию загрузки *1* три кассеты с анодами (см. рис. 66). При наличии свободной ванны манипулятор *3* (рис. 67) с исходной позиции *4* перемещается к позиции загрузки *1*, его захватный механизм опускается, захватывает кассеты за цилиндрические штыри, поднимает вверх, переносит к свободной ванне *5* по адресу, заданному ЭВМ (или оператором на пульте при ручном управлении), и опускает в нее. Затем манипулятор освобождает штыри кассет, поднимается в верхнее положение и возвращается на исходную позицию. Через 10 мин после загрузки кассет в ванну по команде ЭВМ начинается процесс формовки. По командам ЭВМ через равные промежутки времени четыре раза измеряется мгновенное значение формовочного напряжения $U_ф$. Кроме того, ЭВМ рассчитывает необходимое напряжение формовки и по истечении необходимого времени выдает команду "Конец цикла".

Если позиция выгрузки *6* свободна, по команде ЭВМ манипулятор извлекает кассеты с отформованными анодами из ванны данного адреса, переносит их на позицию выгрузки *6* и возвращается на позицию *4*. Если же по данному адресу ванны получена информация о браке, манипулятор по команде ЭВМ разгружает эту ванну, транспортирует забракованные кассеты на исходную позицию *4* и остается там. С позиции выгрузки *6* каждые 8 мин кассета с годными анодами поступает в приемное устройство установки промывки и сушки. Кассеты с бракованными анодами с позиции *4* удаляются вручную.

Промывка и сушка анодов. Эти операции выполняются на агрегате промывки и сушки (рис. 68) и предназначены для удаления с поверхности анодов остатков электролита и влаги. Для промывки используется проточная деионизованная вода, нагреваемая до 80° С; длительность промывки 64 мин. Для повышения качества отмывки воду в ваннах барботируют очищенным сжатым воздухом. Сушку проводят на воздухе при 135–150°С в течение 24 мин.

Кассеты *1* с анодами поступают на подвижные направляющие *2* агрегата с механизма выгрузки установки формовки автоматически или устанавливаются вручную, если агрегат работает автономно. Перемещение кассет вдоль агрегатов производится автоматически шаговым конвейером. Между подвижными направляющими размещена ванна промывки *3*, разделенная перегородками *4* на восемь промывочных позиций. Поступающие на подвижную направляющую *2* кассеты последовательно проходят обработку на каждой из восьми позиций. При этом подогретая деионизованная вода подается в ванну навстречу движению кассет и каждая из них на последней позиции промывается водой, не загрязненной электролитом. Для ускорения промывки вода в ванне барботируется очищенным сжатым воздухом, подаваемым через барботеры *5*.

После промывки кассеты с анодами передаются в накопитель, откуда поступают на операцию опускания защитных экранов. Накопитель обеспечивает сбор кассет в случае остановки линии, а также их передачу на следующую за ним установку в случае остановки агрегата промывки и сушки. Схема первого накопителя показана на рис. 69.

Опускание защитного экрана. Эту операцию выполняют для защиты торца анодной секции и части проволочного вывода от попадания на них азотнокислого марганца при нанесении полупроводниковых слоев. Для опускания экранов в линии используется специальная установка (рис. 70), оператор которой выгружает вручную кассету из накопителя и устанавливает ее в подставку на столешнице анодами вверх. Затем он вынимает из кассеты рейку с анодами, устанавливает ее в приемное устройство установки также анодами вверх и нажатием педали включает механизм опускания экранов.

При этом рейка *5* с анодами закрепляется в пазу базирующей планки *1* таким образом, чтобы проволочные выводы анодов вошли в пазы замыкающей планки *2*, а экраны *4* разместились в гнездах неподвижной губки *3*. Подвижная губка *6* прижимает экран *4* к губке *3*, после чего планки *1* и *2* вместе с рейкой *5* перемещаются вниз, протягивая проволочный вывод через закрепленный экран *4*. Движение планок *1* и *2* продолжается до тех

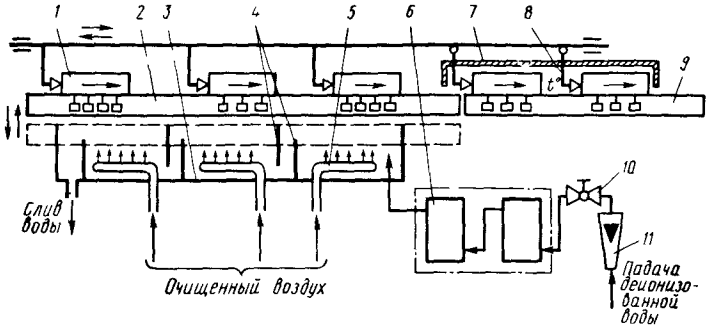


Рис. 68. Схема агрегата промывки и сушки:
1 – кассета с анодами, *2, 9* – подвижная и неподвижная направляющие, *3* – ванна промывки, *4* – перегородки, *5* – барботер, *6* – нагреватель воды, *7* – камера сушки, *8* – подпружиненный упор, *10* – вентиль, *11* – ротаметр

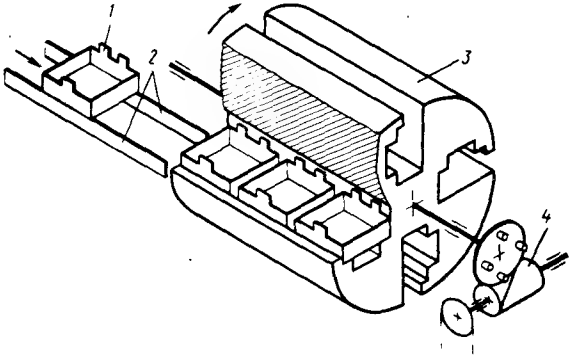


Рис. 69. Схема первого накопителя:
1 – кассета с анодами, *2* – направляющие агрегата промывки и сушки, *3* – ротор накопителя, *4* – делительный механизм

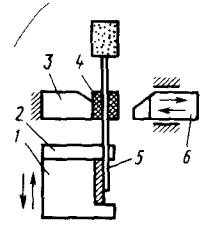


Рис. 70. Схема установки опускания защитных экранов:
1, 2 – базирующая и замыкающая планки, *3, 6* – неподвижная и подвижная губки прижима, *4* – защитный экран, *5* – рейка с анодами

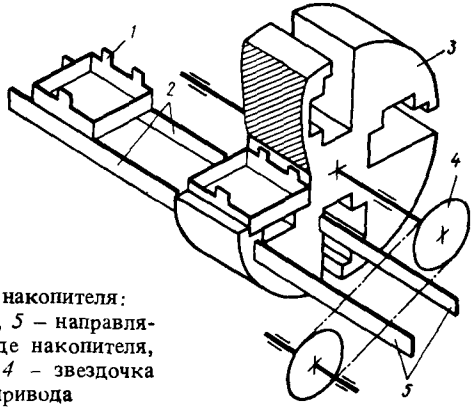


Рис. 71. Схема второго накопителя:
1 – кассета с анодами, *2, 5* – направляющие на входе и выходе накопителя, *3* – ротор накопителя, *4* – звездочка цепной передачи привода

пор, пока торец анода не упрется в торец защитного экрана *4*. Затем губка *6* освобождает экран *4* и обе планки и рейка с анодами возвращается в исходное положение. Оператор снимает рейку с анодами с опущенными экранами и укладывает ее в транспортную кассету, затем загружает новую рейку с анодами, нажимает педаль и цикл повторяется. Длительность операции опускания защитного экрана 0,5–0,6 с (без учета времени загрузки и разгрузки реек).

Загруженные кассеты передаются оператором во второй накопитель (рис. 71). Накопители этого типа широко используются в линии для создания межоперационных заделов при отказе какого-либо оборудования, для синхронизации времени выполнения технологических операций, а также для подпитки потока кассет при снижении производительности соседних агрегатов и в других случаях. Всего в линии смонтировано десять таких накопителей: семь перед агрегатом нанесения полупроводникового слоя, два перед агрегатом подформовки и сушки и один перед агрегатом нанесения переходного контактного покрытия.

Подформовка и сушка анодов. Эту операцию выполняют для восстановления повреждений оксидной пленки на поверхности анодов, для чего их помещают с формовочным электролитом и подают формовочное напряжение. Выбирают U_{Φ} при рабочем напряжении конденсаторов 6–30 В в пределах от 32 до 50 В. Крайние значения напряжения подформовки соответствуют предельным рабочим напряжениям. Время подформовки 15–45 мин. После подформовки аноды сушат в течение 30 мин при 120–150°С.

На автоматической линии эта операция производится три раза, для чего после второго, четвертого и пятого агрегатов нанесения полупроводникового слоя установлены агрегаты подформовки и сушки (рис. 72). Кассеты *1* с анодами поступают на направляющие *2* агрегата с предыдущего агрегата или устанавливаются оператором вручную и прерывисто перемещаются штанговым конвейером. В зоне ванны *3* направляющие опущены до уровня находящегося в ней формовочного электролита (раствор уксусной кислоты). Постоянный уровень электролита в ванне поддерживается с помощью регулируемого по высоте сливного патрубка. Кассеты *1* устанавливаются над ванной *3* так, чтобы аноды были полностью погружены в электролит. В это время к кассетам подключается подпружиненный контакт *4*, соединенный с положительным полюсом источника питания. Отрицательный полюс источника присоединяется к катоду *5*, находящемуся на две ванны. Операция длится 25–30 мин, после чего штанговый конвейер перемещает кассеты на позицию сушки. Сушка производится при 120–150°С в течение 25–30 мин. Образующиеся при сушке пары уксусной кислоты удаляются из камеры системой вентиляции.

Нанесение переходного контактного слоя. Эта операция предназначена для создания на поверхности полупроводника слоя, необходимого для нанесения металлического покрытия, и выполняется на специальном агрегате. Для нанесения переходного контактного покрытия используют лакосажевую композицию (суспензию), обеспечивающую защиту нанесенного полупроводникового слоя, малое переходное сопротивление и хорошую адгезию с металлом. Операция выполняется при температуре суспензии 20–25°С. Суспензию наносят двумя слоями, подсушивая каждый слой горячим

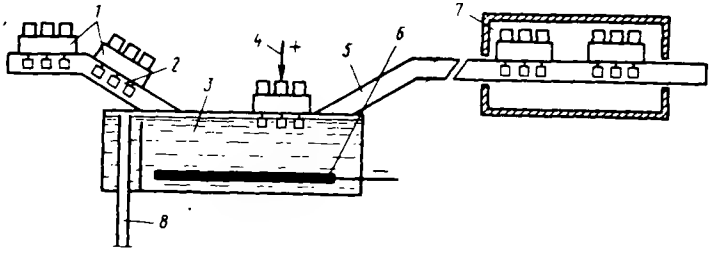


Рис. 72. Схема агрегата подформовки и сушки:
1 – кассеты с анодами, *2, 5* – направляющие, *3* – ванна с электролитом, *4* – положительный контакт, *6* – катод, *7* – камера сушки, *8* – сливной патрубок

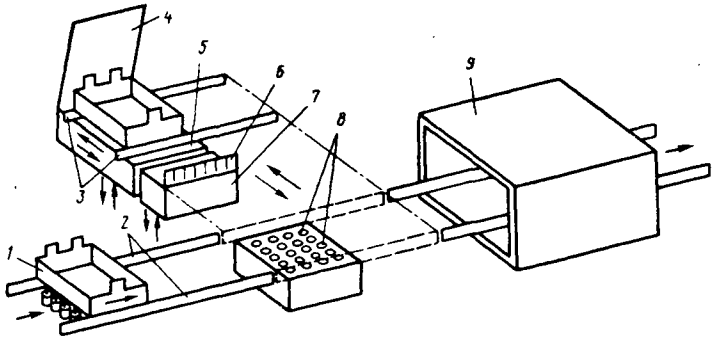


Рис. 73. Схема агрегата нанесения переходного контактного покрытия:
1 – кассета с анодами, *2, 3* – неподвижные и подвижные направляющие, *4* – крышка, *5* – ванна с суспензией, *6* – емкости для сбора излишков суспензии, *7* – нож для снятия излишков суспензии с торцов анодов, *8* – сопла, *9* – камера сушки

воздухом (75–95°С). Температура окончательной сушки 240–260°С. Время нанесения покрытия 3 с, а окончательной сушки 35–50 мин. При работе агрегата (рис. 73) кассеты *1* с анодами поступают на неподвижные направляющие *2*, перемещаются вдоль них и шаговым конвейером подаются на подвижные направляющие *3*. После поступления кассеты подвижные направляющие начинают перемещаться к ваннам *5* с лакосажевой суспензией и останавливаются над ними. Ванны *5*, поднимаясь, доходят до анодов, которые погружаются в суспензию примерно на 2/3 высоты анодной таблетки и выдерживаются в течение 3 с.

Суспензия в ваннах автоматически перемешивается. Уровень суспензии в ваннах также поддерживается автоматически, а вязкость контролируется оператором. После нанесения суспензии подвижные направляющие *3* с кассетами *1* возвращаются в исходное положение. При этом аноды, проходя над ножами *7*, освобождаются от излишков суспензии. Когда направляющие *3* останавливаются в исходном положении, кассеты с анодами оказы-

ваются над соплами *8* струйных сушил, в которые подается очищенный сжатый воздух, нагретый до 100°С. Температуру сушки устанавливают в пределах 75–95°С, а время ее не должно превышать 20 мин. Затем кассеты перемещаются на один паг и цикл повторяется.

После нанесения второго слоя и его сушки кассеты с анодами поступают в камеру сушки *10* для окончательной полимеризации лакосажевой суспензии (процесс длится 48 мин при 240–260°С) и автоматически передаются на металлизацию.

Металлизация анодов. При этой операции гальваническим методом создают пленку меди на слое лакосажевого покрытия, обеспечивающую надежный контакт с полупроводниковым слоем. В качестве электролита используют раствор медного купороса. Отрицательный потенциал прикладывается к аноду конденсатора, а положительный – к медному аноду, расположенному в ванне. Плотность тока при меднении 0,7 мА/мм^2 (она должна плавно нарастать). Время плавного подъема тока до заданного значения 5–20 с, а меднения до 3,5 мин. Длительность промывки анодом проточной деионизованной водой 1 мин; скорость подачи воды не менее 2,4 л/мин. Время обдувки анодов очищенным сжатым воздухом 10–15 с (давление воздуха в сети $(4 \div 6) \cdot 10^2$ кПа), а сушки в потоке подогретого воздуха до 40–60°С 20–25 мин.

Операцию выполняют на агрегате гальванической металлизации (рис. 74). Специальный конвейер, в пазы которого вручную вставляют по десять реек с анодами, автоматически передает их на позицию гальванического меднения. Здесь выводы анодов зажимаются контактами *3* отрицательного электрода и аноды опускаются в ванну *2* с электролитом. На другой электрод *5* подается положительный потенциал. Контакты *3* погружаются в электролит на 1–2 мм, а аноды – на 2/3. По истечении 3,5 мин контакты вместе с анодами поднимаются из ванны *2,* раскрываются и, поворачиваясь вместе с поворотным механизмом *6,* поступают в ванну *4,* заполненную раствором азотной кислоты. Осевшая на контактах в процессе меднения медь в этой ванне стравливается и контакты перемещаются на промывку проточной деионизованной водой в ванну *7.* Время промывки 4 мин. В это же время рейки с анодами перемещаются конвейером в ванну *8* с проточной деионизованной водой. Ванна *8* поднимается вверх и начинает совершать возвратно-поступательное движение, осуществляя тем самым промывку анодов от остатков электролита. После промывки аноды обдуваются сжатым воздухом и передаются на сушку при комнатной температуре, а затем – на следующую операцию.

Сборка. Схема сборки оксидно-полупроводниковых конденсаторов на автоматизированной линии приведена на рис. 75. Корпуса и аноды набирают в промежуточные кассеты и передают на две ветви параллельно работающих ленточных конвейеров.

На первой ветви кассеты, в которые набраны аноды с приваренными медными выводами, передаются конвейером на операцию подрезки медных выводов в один размер, а затем – на операцию монтажа изолятора. При этом проходные стеклянные изоляторы, поштучно подаваемые из вибробункера, автоматически монтируются на каждый проволочный вывод анодов. В процессе монтажа автоматически контролируется комплектность

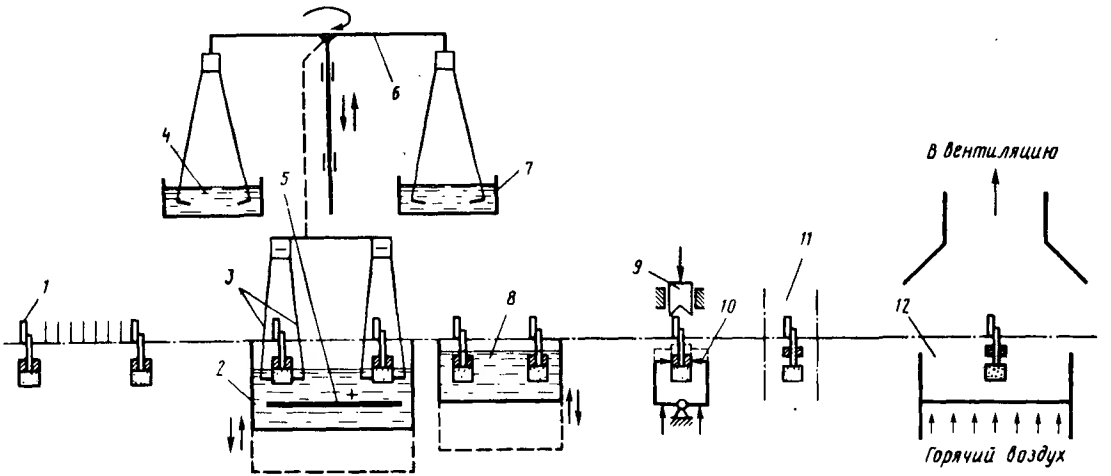


Рис. 74. Схема агрегата гальванической металлизации:
1 – рейка с анодами, *2, 4* – ванны гальваническая и травления, *3* – контакты, *5* – анод, *6* – поворотный механизм, *7, 8* – ванны промывки, *9* – прижим, *10* – механизм подъема экранов, *11* – зона подсушки, *12* – камера сушки

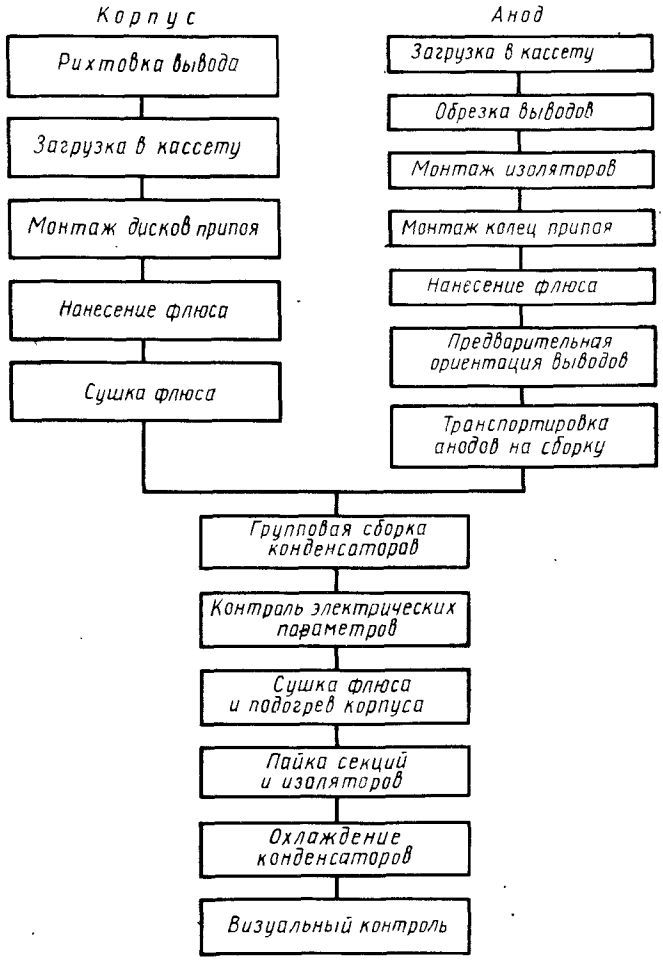


Рис. 75. Схема технологического процесса сборки оксидно-полупроводниковых конденсаторов на автоматизированной линии

сборки и при отсутствии на одном из выводов изолятора подается сигнал оператору, который вручную надевает на вывод новый изолятор, и кассета с анодами перемещается на следующую позицию. Здесь на проволочный вывод надевается кольцо припоя. Контроль комплектности выполняется так же, как при монтаже изолятора. Далее кассета с анодами подается на позицию автоматического нанесения флюса на каждый укомплектованный изолятором вывод анода и поступает на конвейер, где из нее извлекаются аноды с изоляторами и кольцами, которые передаются в ориентированном положении на позицию групповой сборки в корпус.

Одновременно на второй ветви корпуса конденсаторов, собранные в промежуточные кассеты, проходят операцию рихтовки проволочных выво-

дов и вручную перегружаются в основные технологические кассеты, в которых автоматически передаются на операцию монтажа дисков припоя. Диски припоя поштучно автоматически укладываются на дно каждого корпуса. Затем кассеты поступают на операцию флюсования. При этом на диски припоя, лежащие на дне корпуса, автоматически дозатором наносится капля флюса и кассеты автоматически поступают на позицию сушки флюса с помощью инфракрасных ламп при 150°С. После сушки кассеты с корпусами автоматически подаются на позицию групповой сборки с анодами.

При сборке аноды захватываются за выводы автоматическими ловителями, ориентируются и вводятся в корпус так, чтобы их торец плотно соприкасался с диском припоя. Изоляторы и кольца припоя, смонтированные на анодных выводах, также монтируются в корпус. Затем кассеты передаются на позицию контроля качества сборки, где проверяется правильность монтажа анодов и изоляторов с кольцами припоя в корпуса. При наличии дефектов (неполностью смонтирован анод или изолятор с кольцом припоя) напротив каждого плохо собранного конденсатора загорается сигнальная лампа и оператор должен устранить причину дефекта либо извлечь из кассеты бракованную сборку.

После контроля кассеты автоматически подаются на позицию пайки. Для повышения качества и сокращения времени пайки конденсаторы предварительно прогревают. Пайка происходит при подаче через специальные сопла на корпуса конденсаторов горячего воздуха. При этом создается надежный контакт катодного вывода секции и изолятора с корпусом конденсатора. После пайки кассеты с конденсаторами поступают на позицию охлаждения холодным воздухом и передаются на позицию визуального контроля.

На этой позиции оператор контролирует качество сборки и пайки конденсаторов, а также габаритные размеры и удаляет из кассет бракованные конденсаторы. Годные конденсаторы переносят из кассет в специальную тару и передают на участок выпуска, где на автоматическом оборудовании запаиваются трубочки и лудятся проволочные выводы. После этого конденсаторы поступают на операцию контроля качества запайки трубочек, которую выполняют визуально групповым методом. Наличие пузырьков воздуха, выходящего через трубочку или неплотно заполненный корпус, при нагревании конденсаторов в горячем глицерине или масле свидетельствует об их негодности. Годные конденсаторы передаются на операции промывки, сушки, маркировки, контроля электрических параметров и упаковки в транспортную тару.

Контрольные вопросы

1. Каковы преимущества анодов из порошков тантала, ниобия и алюминия?
2. Какие функции выполняют бумага и электролит в электролитических конденсаторах?
3. Какова конструкция анодов электролитических конденсаторов различных видов?
4. Как создают оксидную диэлектрическую пленку на фольговых и таблеточных анодах?
5. Каково назначение операций травления и формовки фольги?
6. Назовите основные технологические операции изготовления электролитических конденсаторов.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СЛЮДЯНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

§ 38. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Слюдяные конденсаторы имеют высокие удельные характеристики. В качестве диэлектрика в этих конденсаторах используют слюду, а обкладками служит слой серебра. Качество серебряного слоя в большой мере влияет на электрические характеристики конденсаторов. Так как серебро – дефицитный и дорогостоящий материал, каким бы методом ни наносился серебряный слой на слюду (вакуумным испарением, вжиганием и т.д.), процесс должен быть организован так, чтобы слой был качественным, потребное количество серебра – минимальным, а все отходы улавливались и передавались на специализированные предприятия для вторичной переработки.

В последнее время ведутся работы по замене серебра другими металлами (в том числе двух- и многослойные покрытия) или сплавами.

Слюдяные конденсаторы выполняются в виде секции, набираемой из пластин диэлектрика и обкладок, скрепляемых в пакет различного вида обжимками. Для герметизации секций используют корпуса различного оформления, зависящего от типа конденсатора. Обжимки изготовляют из луженой медной проволоки или латунной ленты.

Выпускаются слюдяные конденсаторы постоянной емкости, опрессованные пластмассой КСО (рис. 76,*а*) и КСОТ, а также герметизированные в металлическом КСГ (рис. 76,*б*) и ССГ или керамическом СГМ и СГМЗ (рис. 76,*в*) корпусе.

Слюдяные опрессованные конденсаторы КСО (рис. 76,*а*) десяти типоразмеров (КСО-1, КСО-2, КСО-5, КСО-6, КСО-7, КСО-8, КСО-10, КСО-11, КСО-12 и КСО-13) предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсных режимах при рабочих температурах от –60 до +70° С и номинальном напряжении 500 и 3000 В. Габариты этих конденсаторов от 13×7×4,6 мм (КСО-1) до 64×40×14 мм (КСО-13).

Конденсаторы КСО выпускаются четырех классов точности: ±2%, ±5%, ±10% и ±20%. По значению ТКЕ конденсаторы делятся на четыре группы: А, Б, В, Г (табл. 4).

Таблица 4. Группы слюдяных конденсаторов

Группа	ТКЕ, $1/°C \cdot 10^{-6}$	Примечание
А (фольговые	Не нормируется	КСО-1 и остальные с допуском +2% не изготовляются
Б (серебряные)	±200	КСО-11, КСО-12 и КСО-13 не изготовляются
В (то же)	±100	То же
Г (то же)	±50	»

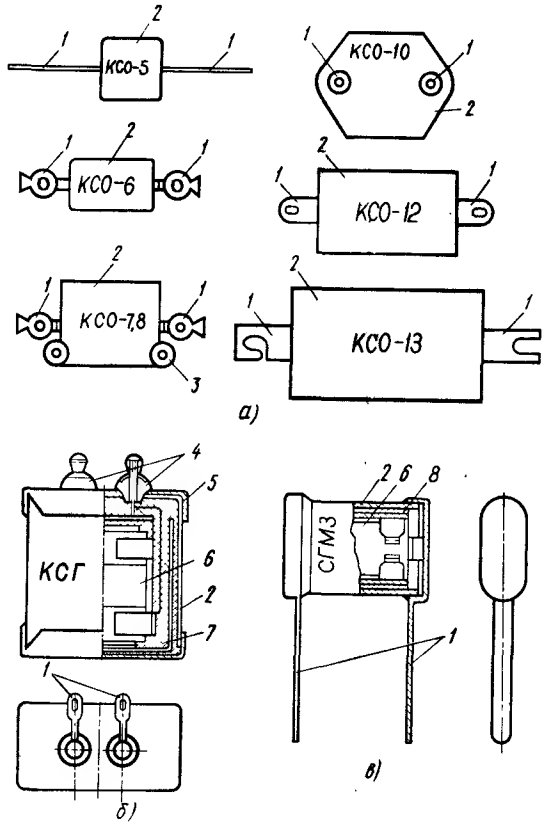


Рис. 76. Слюдяные конденсаторы:
а – опрессованные пластмассой КСО, *б* и *в* – герметизированные в металлическом КСГ и керамическом СГМЗ корпусах; *1* – внешние выводы, *2* – корпус, *3* – монтажное отверстие, *4* – стеклянные изоляторы, *5* – крышка, *6* – секция, *7* – церезин, *8* – полистирольная пленка

Номинальные емкости и напряжения конденсаторов КСО приведены в табл. 5.

Таблица 5. Технические характеристики конденсаторов КСО

Конденсатор	Пределы номинальных емкостей, мФ	Номинальное напряжение, В
КСО-1	51–750	250
КСО-2	100–2 400	500
КСО-5	470–10 000	500–250

Конденсатор	Пределы номинальных емкостей, мФ	Номинальное напряжение, В
КСО-6	100–2 700	1000
КСО-7	47–3 300	2500–1000
КСО-8	1000–30 000	2500–250
КСО-10	47–50 000	3000–250
КСО-11	10–10 000	3000–250
КСО-12	10–20 000	5000–250
КСО-13	10–50 000	7000–250

Слюдяные конденсаторы КСО-1, КСО-2 и КСО-5 имеют проволочные выводы, а КСО-6–КСО-8 и КСО-11–КСО-13 – лепестковые, выводы конденсаторов КСО-10 выполнены в виде резьбовых букс.

Слюдяные опрессованные теплостойкие конденсаторы КСОТ по конструкции выполнены так же, как конденсаторы КСО, и имеют такие же габаритные размеры. В качестве материала для опрессовки применяется пресспорошок.

Эти конденсаторы выпускаются семи типоразмеров (КСОТ-1, КСОТ-2, КСОТ-5, КСОТ-6, КСОТ-7 и КСОТ-8) и предназначены для работы при температуре от –60 до +155° С. Номинальные емкости и напряжения приведены в табл. 6.

Таблица 6. Технические характеристики конденсаторов КСОТ

Конденсатор	Пределы номинальных емкостей, пФ	Номинальное напряжение, В	Конденсатор	Пределы номинальных емкостей, пФ	Номинальное напряжение, В
КСОТ-1	51–510	250	КСОТ-6	100–1 500	1000
КСОТ-2	100–1 200	500	КСОТ-7	1 600–3 300	1000
КСОТ-5	470–6 800	500	КСОТ-8	3 600–10 000	1000

Для конденсаторов КСОТ также установлены четыре группы ТКЕ, причем в отличие от конденсаторов КСО-1 конденсаторы КСОТ-1 имеют группу А, что объясняется особенностями конструкции их обкладок.

Слюдяные герметизированные конденсаторы КСГ, ССГ, СГМ и СГМЗ предназначены для работы в условиях повышенной влажности и пониженного атмосферного давления при температуре от –60 до +80° С.

Конденсаторы КСГ (рис. 76,*б*) выпускаются двух конструктивных исполнений: КСГ-1 и КСГ-2. Номинальные емкости конденсаторов КГС-1 лежат в пределах от 470 до 4700 пФ при номинальном напряжении до 500 В, а конденсаторов КСГ-2 – от 20 000 до 30 000 пФ при номинальном напряжении 1000 В и от 20 000 до 100 000 пФ при номинальном напряжении 500 В. Классы точности конденсаторов КСГ те же, что и конденсаторов КСО. По значению ТКЕ конденсаторы КСГ выпускаются двух групп: Б и Г.

Конденсаторы КСГ состоят из секции, уплотняющего элемента и герметичного корпуса с разнонаправленными (КСГ-1) или однонаправленными (КСГ-2) лепестковыми выводами, соответственно проходящими через керамические буксы или стеклянные изоляторы.

Конденсаторы ССГ выпускаются трех типоразмеров: ССГ-1, ССГ-2 и ССГ-3. Номинальные емкости конденсаторов ССГ-1 лежат в пределах от 150 до 5000 пФ, ССГ-2 – от 50 000 до 100 000 пФ и ССГ-3 – от 100000 до 200 000 пФ; номинальное напряжение 350 В. Допустимые отклонения емкости для различных диапазонов емкостей приведены ниже.

Диапазон емкостей, пФ	150–3500	3500–200 000
Допустимые отклонения емкости	±10 пФ, ±5 пФ, ±2 пФ (но не точнее 1 пФ)	±0,3%, ±0,5%, ±1%

Конденсаторы ССГ состоят из секции с выводами, уплотняющего элемента, корпуса с проходными стеклянными изоляторами и крышки. Для исключения воздействия на секцию магнитных полей корпус изготовляют из меди.

Конденсаторы СГМ выпускаются на номинальное напряжение от 25 до 1500 В четырех типоразмеров: СГМ-1, СГМ-2, СГМ-3 и СГМ-4. Конденсаторы СГМ-1 имеют габаритные размеры 13Х9,5Х 6,0 мм, СГМ-2 – 13Х10Х Х7 мм, СГМ-3 – 18Х13,5Х7,5 мм и СГМ-4 – 18Х22Х9 мм. Номинальные емкости при различных рабочих напряжениях лежат в пределах: СГМ-1 – от 51 до 560 пФ при $U_р$ = 250 В; СГМ-2 – от 620 до 1200 пФ при $U_р$ = = 250 В; СГМ-3 – от 51 до 4300 пФ при $U_р$ = 500 В, от 100 до 4000 пФ при $U_р$ = 100 В, от 100 до 1500 пФ при $U_р$ = 1500 В; СГМ-4 – от 6800 до 10 000 пФ при $U_р$ = 25 В, от 4700 до 6200 пФ при $U_р$ = 500 В, от 3300 до 6800 пФ при $U_р$ = 1000 В и от 1600 до 3900 пФ при $U_р$ = 1500 В.

Допустимые отклонения емкости такие же, как у конденсаторов КСО. По значению ТКЕ эти конденсаторы выпускаются двух групп: Б и Г.

Конденсаторы СГМЗ (рис. 76,*в*) типов СГМЗ-А и СГМЗ-Б конструктивно выполнены так же, как конденсаторы СГМ, и выпускаются на рабочее напряжение 350 В. Буква З указывает, что конденсатор может быть выпущен на любую необходимую емкость. Размеры этих конденсаторов соответствуют размерам конденсаторов СГМ-3 и СГМ-4. Допустимые отклонения емкости конденсаторов СГМЗ для различных диапазонов емкостей приведены ниже.

Диапазон номинальных емкостей, пФ	50–100	105–1000	3005–10 000
Допустимые отклонения емкости	±2% пФ	±5 пФ	±0,3%, ±0,5%, ±1%

Герметизируют конденсаторы СГМЗ пайкой внешних выводов к корпусу, для чего на керамику нанесены серебряные пояски.

Как уже отмечалось, в конденсаторостроении в качестве диэлектрика применяют слюду, в основном сорта мусковит, обладающую высокими электрическими и механическими свойствами, и слюду сорта флагопит для изготовления конденсаторов, работающих при температуре до 500°С. Окраска слюды зависит от присутствия в ней окислов хрома, железа и титана.

Содержание слюды мусковит в основной породе 1,5–3%. Добытую на рудниках слюду-сырец направляют на слюдяные фабрики, где из нее изготовляют прямоугольные пластинки, которые в производстве конденсаторов называют шаблонкой. Из общего количества сырца выход шаблонки составляет около 0,4%, что сказывается на ее стоимости.

В слюде мусковит чрезвычайно удачно сочетаются высокие электроизоляционные качества с хорошими физическими свойствами. Электрические свойства слюды мусковит: диэлектрическая проницаемость 6–7; температурный коэффициент диэлектрической проницаемости $(10 \div 20) \cdot 10^{-6}$ 1/°С; тангенс угла диэлектрических потерь $(1 \div 1{,}5) \cdot 10^{-4}$; удельное объемное сопротивление 10^{15}–10^{16} Ом·см; пробивная напряженность (в масле) образца толщиной 0,025 мм при частоте переменного тока 50 Гц до 125–130 кВ/мм.

Слюда выдерживает нагрев до 600°С без каких-либо внешних изменений. Рабочий интервал температур слюдяных конденсаторов значительно ниже.

Слюда относится к числу химически стойких электроизоляционных материалов и обладает весьма малой гигроскопичностью. Однако слоистость строения позволяет влаге проникать между слоями слюды, значительно снижая ее электрические свойства. Поэтому при производстве конденсаторов в некоторых случаях необходима сушка слюды и герметизация пакетов слюдяных конденсаторов.

Применяемые в конденсаторостроении пластинки слюды (шаблонки) имеют различные геометрические размеры: от 4×9 до 50×60 мм; толщина пластинки от 0,02 до 0,06 мм. Пластинки слюды для обеспечения механической прочности секций имеют толщину от 0,08 до 0,3 мм.

Выпускают слюду нескольких марок. Слюду марки СО (образцовая) применяют для изготовления образцовых конденсаторов с особо высокой стабильностью емкости и малым значением $\operatorname{tg}\sigma$ при высоких и низких частотах; марки СФ (фильтровая) – для фильтровых конденсаторов проводной связи; марки СНЧ (низкочастотная) – для радиоконденсаторов, используемая в контурах низкой частоты; марки СВЧ (высокочастотная) – для высокочастотных конденсаторов; марки СЗ (защитная) – для изоляции пакетов от обжимок и корпусов.

На слюде СО допускается не более 2% площади пластинки, занятой пятнами или воздушными включениями, на слюде СФ – 3%, а наличие этих дефектов на слюде других марок не оговаривается. Проколы и включения, пронизывающие слюду и проводящие ток, а также горбины не допускаются.

Электрическая прочность слюды зависит от вида приложенного напряжения. При переменном напряжении повышенной частоты электрическая прочность несколько снижается по сравнению с ее значениями при технической частоте, а при постоянном напряжении повышается в 1,5–2 раза.

Учитывая, что в реальном слюдяном конденсаторе неоднородность электрического поля резко выражена, а рабочая площадь слюды велика (до 500–600 $см^2$), следовательно, велика вероятность наличия в слюде мест пониженной электрической прочности. Допустимая напряженность электрического поля с уменьшением толщины диэлектрика в реальных конденсаторах снижается.

Наличие в слюде воздушных, газовых и иных включений может вызвать местное искажение электрического поля, влекущее за собой возникновение тангенциальной составляющей напряженности поля, направленной параллельно плоскости слоев слюды. Это явление вызывает ухудшение электрических свойств и, в первую очередь, ухудшение $tg\delta$ на низких частотах из-за повышенной проводимости по поверхности раздела слоев слюды.

Развивающаяся при высоком напряжении ионизация тоже ухудшает $tg\delta$. Воздушные включения понижают стабильность емкости слюдяных конденсаторов.

Пятнистость также в ряде случаев сказывается отрицательно на электрических свойствах слюды.

Механические повреждения резко снижают электрическую прочность слюды, поэтому важно, чтобы ее пластинки имели как можно меньше естественных дефектов и дефектов обработки. Царапины, краевое расслоение, заломы, отколы углов пластин и другие дефекты обработки должны быть сведены к минимуму. Грязь на поверхности слюды, отпечатки пальцев и другие поверхностные загрязнения ухудшают электрические параметры слюды и, в первую очередь, повышают $tg\delta$.

§ 40. ПОДГОТОВКА СЛЮДЫ К СБОРКЕ

Слюда, поставляемая фабриками, иногда недостаточно точно раскалибрована по толщине. Толщина пластин слюды в партии находится в пределах от 20 до 70 мкм и применять их в таком виде невозможно. Поэтому вся получаемая слюда в конденсаторном производстве проходит повторную тщательную рассортировку по толщине.

Раскалибровку пластин слюды всех размером выполняют на автоматах АРС нескольких модификаций, с помощью которых пластины толщиной от 18 до 55 мкм измеряются с погрешностью 1 мкм и сортируются на 13 допусковых групп. Допустимое содержание пластин любой другой толщины в определенной группе – не более 2%. Производительность автоматов 1800 пластин в час.

Автомат состоит из подставки и блока раскалибровки, в который входят кран, электропневмоклапан, комбинированный блок, сортировочное устройство, редуктор, механизмы перемещения, устройства управления и транспортирующее, механизм очистки, датчик, каркас и радиусная кассета.

При работе автомата столбик подлежащих раскалибровке пластин слюды загружают пинцетом в радиусную кассету, откуда они поштучно транспортирующим устройством (диском и барабаном с вакуумным присосом) передаются на измерительную позицию датчика для определения толщины. Сигнал, соответствующий толщине пластины, поступает через комбинированный блок на реле сортировочного устройства, в результате

чего открывается канал определенной размерной группы, и пластина слюды, сбиваемая толкателем с измерительной позиции, попадает в соответствующую коробку. Чтобы сократить отходы дорогостоящей слюды, для ее раскалибровки применяют автомат АРКС, на котором пластины толщиной от 45 до 55 мкм расщепляют на две толщиной от 18 до 45 мкм.

После раскалибровки по толщине пластины слюды проходят перед сборкой в пакеты ряд подготовительных операций: промывку или прокаливание, разбраковку на светоточке по внешнему виду, укладку в кассеты, а затем передаются на сборку (если слюда предназначена для сборки пакетов фольговых конденсаторов) или на операцию серебрения.

Промывка в 20%-ном аммиачном растворе, а затем в дистиллированной воде и сушка в термостате снимают со слюды случайные загрязнения и обезжиривают ее.

Разбраковку по внешнему виду выполняют на специальном приспособлении, которое представляет собой ящик с прямоугольным отверстием. Внутри ящика имеются электрические лампочки, а отверстие закрыто стеклом, покрытым черной краской. В середине черного стекла имеется белый матовый светящийся прямоугольник. Перед началом работы поверхность стекла протирают ватой, смоченной спиртобензиновой смесью, на указательный и средний пальцы обеих рук надевают резиновые напальчники и также протирают их спиртобензиновой смесью.

Выкладывают пинцетом часть слюды из тары на стекло и просматривают каждую слюдинку на зачерненной поверхности стекла, чтобы выявить и отбраковать имеющиеся трещины, надломы углов, краевые расслоения, проколы и другие механические повреждения, а также воздушные включения. Эти дефекты лучше всего видны на черной поверхности. Далее каждую слюдинку просматривают на светлой — матовой части стекла, чтобы отбраковать слюдинки с инородными включениями, пятнами минерального происхождения и различными загрязнениями.

Разбраковку ведут в соответствии с утвержденными образцами и передают годную слюду для укладки в переносные кассеты. В настоящее время разработаны и начинают применяться автоматы оценки качества слюды. Укладку слюды в кассеты выполняют с помощью виброустановки.

§ 41. СЕРЕБРЕНИЕ СЛЮДЫ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ИСПАРЕНИЯ

Вакуумное испарение серебра выполняют на полуавтоматической установке (рис. 77), которая состоит из камеры вакуумного испарения *2* (одной или двух), пульта управления *1* и вакуумных насосов *6* и *8*.

Подготовка установки к работе начинается с того, что за 20—30 мин до начала напыления необходимо включить форвакуумный насос *6* и открыть вакуумный вентиль *5* выхлопа паромасляного насоса *8*, соединив его с форвакуумным насосом, затем пустить воду для охлаждения паромасляного насоса и включить его подогрев. Всасывающая линия паромасляного насоса и вентиль *4*, соединяющий камеру серебрения с форвакуумным насосом, должны быть закрыты.

Поступившую для серебрения в рамках пластинки слюды вставляют в держатели (обычно по две). Заготовленные заранее отрезки серебряной

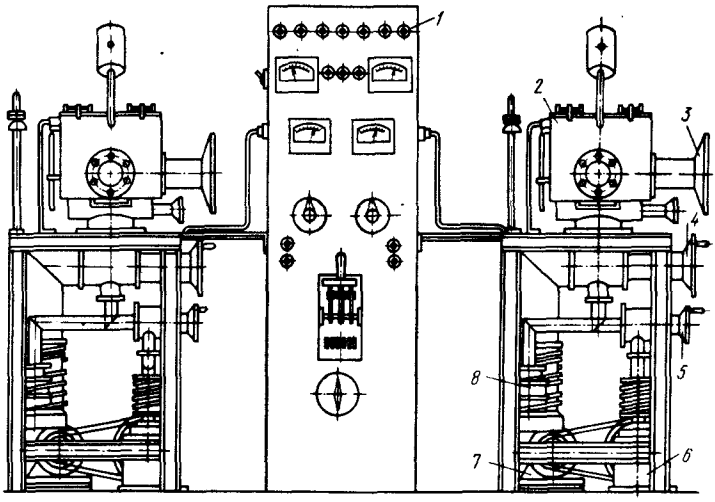


Рис. 77. Установка вакуумного серебрения:
1 – пульт управления, *2* – камера вакуумного испарения с откидной крышкой, *3* – штурвал поворота рамок, *4, 5* – вентили, *6, 8* – форвакуумный и паромасляный насосы, *7* – электродвигатель

проволоки необходимой длины укладывают на ленточный корытообразный танталовый или молибденовый испаритель установки, а затем укрепляют в механизме вращения установки держатели с рамками. Правильность их крепления и плавность поворота проверяют, вращая по часовой стрелке штурвал *3*, расположенный снаружи камеры. Закрывают крышку камеры вакуумного испарения и спускной кран и включают на пульте управления контрольные приборы для измерения давления. Вентиль выхлопа паромасляного насоса закрывают, а вентиль, соединяющий камеру серебрения с форвакуумным насосом, открывают. Когда в камере серебрения давление составит 66,6 Па, необходимо открыть вентиль выхлопа паромасляного насоса, чтобы подготовить его к последующей работе.

Следует отметить, что при эксплуатации установки надо стремиться к тому, чтобы паромасляный насос без откачки из него воздуха форвакуумным насосом работал как можно меньше времени (не более 2–3 мин). Это необходимо, чтобы предотвратить преждевременный пережог масла. Соединить выхлоп или всасывающую линию паромасляного насоса с атмосферой при разогретом масле вообще нельзя. Когда в камере испарения остаточное давление достигнет 19,9 Па, вентиль, соединяющий камеру с форвакуумным насосом, закрывают и открывают вентиль паромасляного насоса. При давлении 1,9 Па можно приступить к серебрению.

Рубильником на щите управления вторичную обмотку накального трансформатора переключают на правую или левую камеру испарения. Кнопкой пускателя включают накал и прогревают электрод в течение 2–3 с. После отключения тока накала следует повторно нажать кнопку и посеребрить слюду с одной стороны первый раз при одном из положений штурвала. Время накала электродов при прогреве и серебрении задается специальным

реле. Далее следует посеребрить слюду при различных положениях штурвала, при каждом повороте которого вновь нажимают кнопку.

Ориентировочный режим вакуумного серебрения: напряжение накала 10–14 В при молибденовом электроде и 10–16 В при танталовом; ток накала 140–200 А; время выдержки 40 с. Оптимальный режим вакуумного серебрения подбирают опытным путем.

Окончив вакуумное серебрение, закрывают вентиль, соединяющий камеру с паромасляным насосом, выключают рубильник накала и открывают кран, соединяющий камеру с атмосферой. Кран открывают не раньше, чем через 5–10 с после окончания цикла серебрения, чтобы не сокращался срок службы испарителя и не ухудшалось качество серебрения слюды. Когда давление в камере будет равно атмосферному, крышку камеры открывают, держатели рамок с посеребренной слюдой вынимают, а повторяют процесс на следующем, заранее подготовленном, комплекте держателей с уложенными в них рамками со слюдой.

Рамки серебренной слюды вынимают из держателей и загружают последние следующей партией рамок. Посеребренную слюду передают на сортировку. Использовать можно только исправные рамки, иначе происходит некачественное серебрение слюды. Так, из-за неплотного прилегания верхней и нижней частей рамок получаются расплывчатые кромки краев серебренной поверхности. Некомплектная или неисправная рамка может привести к смещению серебряного слоя. Перекос серебряного слоя может также произойти из-за неправильной укладки слюды. По этой же причине края слюды могут сминаться.

При недостаточном покрытии слюды слоем серебра в нем наблюдаются просветы, если рассматривать серебренную слюдинку на свет. Совершенно недопустимы разрывы слюды в местах воздушных включений, которые могут произойти под воздействием вакуума и температуры, а также царапины, отсекающие часть серебряного слоя, механические повреждения слюды (трещины и отломы углов). Слюдяные пластинки с такими дефектами для сборки пакетов конденсаторов непригодны и должны быть отбракованы. Годные серебренные пластинки слюды имеют толщину слоя около 1 мкм.

Пластинки слюды, имеющие недостаточную толщину серебряного слоя, серебрят повторно. Толщину слоя определяют, просматривая слюдинки на свет, а более точно – в химической лаборатории. Недостаточная толщина слоя, нанесенного на слюду серебра, может получиться, если электрод испарителя заплавлен серебром, преждевременно сброшен вакуум, на испаритель уложено недостаточное количество серебра или неправильно расположены в установке держатели с рамками.

§ 42. СБОРКА ПАКЕТОВ

Сборка пакетов – одна из основных технологических операций изготовления слюдяных конденсаторов – заключается в наборе определенной комбинации пластин слюды и фольговых обкладок при производстве фольговых конденсаторов, в которых обкладки одновременно служат выводами, или пластин серебренной слюды и выводов при изготовлении конденсаторов из серебренной слюды.

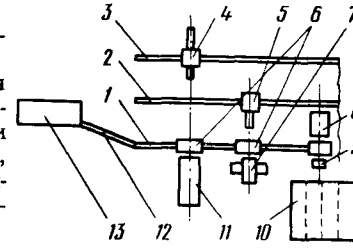


Рис. 78. Схема автомата АСП сборки пакетов слюдяных конденсаторов:
1 – поворотный стол, *2, 3* – нижняя и верхняя платы, *4, 5* – присосы слюды и фольгового вывода, *6* – корпус для пакета, *7* – штампы подачи и резки фольги, *8* – пневмоцилиндр со съемником, *9* – контактные губки, *10* – сортирующее устройство, *11* – кассета со слюдой, *12* – лоток, *13* – вибробункер

В настоящее время вручную собирают только пакеты маленьких партий конденсаторов. Большую часть пакетов слюдяных конденсаторов собирают с помощью полуавтоматов или автоматов, наиболее распространенным из которых является автомат АСП (рис. 78).

Автомат состоит из каркаса, редуктора, привода, сортировочного устройства и механизма перемещения присосов. Каркас выполнен в виде коробки, внутри которой размещены электродвигатели и системы распределения вакуума и сжатого воздуха в присосах. На каркасе крепятся нижняя и верхняя платы. На верхней плате расположены присосы *4* с закрепленными на них тарелками для взятия слюды, а на нижней – присосы *5* для взятия фольги. Под нижней платой находится поворотный стол *1* с 25 корпусами, равномерно расположенными по окружности. Под столом (также по окружности) поочередно расположены 22 кассеты *11* со слюдой и 21 штамп *7* подачи и резки фольги. Расстояние между кассетами и штампами равно расстоянию между корпусами стола или одному шагу поворота, т.е. 0,5 шага стола.

Над поворотным столом на кронштейне установлен пневмоцилиндр *8* со съемником, предназначенным для выборки собранных годных пакетов из корпусов и обжатия их на матрице, а также контактные губки *9* для снятия с матриц отжатого пакета, подключения его к прибору контроля отклонения емкости и сброса в сортирующее устройство *10*. От вибробункера *13* вплотную к матрице примыкает лоток *12*, снабженный двумя канавками для перемещения по ним сжатым воздухом выводов.

При работе автомата тарелки с закрепленными на них присосами перемещаются вверх и вниз. За один оборот все присосы последовательно совершают большой ход для взятия слюды, останов в верхнем положении, малый ход для укладки фольги и останов в верхнем положении. Останов всех присосов в верхнем положении происходит одновременно, и его продолжительность равна времени поворота стола на 0,5 шага. Так, при повороте стола на один шаг все присосы слюды и фольги захватят и уложат по одному элементу в каждый корпус. Поскольку все элементы пакета (защитная и рабочая слюда и фольга) расположены под поворотным столом в определенной последовательности и в необходимом для данного номинала количестве, каждый корпус, прошедший от первой кассеты до последней, получает весь набор элементов в заданной последовательности.

Таким образом, через каждый шаг поворота стола к контактодержателю поступает корпус с собранным пакетом и замеряется отклонение емкости собранного пакета от номинальной сравнением с емкостью образцового

конденсатора. В зависимости от результатов замера схема прибора МЦ-2А выдает команду "Брак" или "Годный".

По команде "Брак" срабатывает первый исполнительный электромагнит и пакет из корпуса не выбрасывается. Через 0,5 шага после команды "Брак" срабатывает второй электромагнит и обжимки на матрице не обжимаются. Забракованный пакет проходит до механизма очистки, вынимается из корпуса и сбрасывается в бункер брака. Обжимки захватываются контактными губками и сбрасываются в свой бункер брака. По команде "Годный" пакет выбирается съемником пневмоцилиндра и через 0,5 шага обжимается на матрице.

Секции некоторых конденсаторов собирают не на описанных автоматах, а на однооперационных полуавтоматах. В этом случае процесс сборки состоит из ряда отдельных операций.

Собранные пакеты конденсаторов проходят операцию подпрессовки. Эта операция необходима, чтобы распределить церезин внутри пакета равномерно и удалить излишки с поверхности, вытеснить воздух, спрессовать пакет, т.е. сблизить между собой, насколько это возможно, пластинки слюды и обкладки или выводы и придать пакету большую механическую прочность и влагостойкость. Подпрессовку выполняют на обычном пневматическом прессе с электроподогревом плит до 110–130°С. Устанавливают и контролируют температуру по пирометру.

Пакеты конденсаторов поступают на операцию подпрессовки уложенными во время сборки на чистые листы бумаги, хорошо впитывающей церезин. На рабочий стол укладывают три-четыре слоя байковых прокладок, на которые помещают лист бумаги с пакетами конденсаторов.

Сверху снова кладут байковую прокладку, а на нее – следующий лист бумаги с пакетами. Так, в зависимости от толщины пакета укладывают 5–6 слоев. Последний лист с пакетами закрывают тремя-четырьмя слоями прокладок. Собранную пачку листов с пакетами деревянной лопаткой помещают на нижнюю предварительно подогретую плиту пресса и плавно поднимают ее до соприкосновения пачки с верхней плитой. В таком положении пакеты в зависимости от их типа и толщины прогревают 12–20 мин. Затем давление плавно доводят до $7{,}3 \cdot 10^3$ кПа и выдерживают 20–30 мин. Во время подогрева пакетов и выдержки их под давлением подготовляют вторую пачку листов с пакетами.

Подпрессованные пакеты вынимают из пресса, снимая давление и опуская нижнюю плиту. По прошествии 15–20 мин, в течение которых пакеты частично охлаждаются, начинают разбирать пачки. Листы бумаги с подпрессованными пакетами укладывают в чистую тару и передают на следующую операцию. Байковые прокладки используют несколько раз в течение примерно 15–25 ч работы, по мере снижения впитывающей способности их заменяют новыми.

При изготовлении конденсаторов с малым допуском (±0,3%, ±0,5% и ±2%, а иногда и ±5%) часто приходится подгонять емкость пакетов. Емкость пакета измеряют прибором и в зависимости от ее значения либо счищают со слюды некоторую часть серебряного слоя, либо удаляют или добавляют пластину слюды. Разные сочетания этих операций выполняют в зависимости от емкости подгоняемого пакета и точности подгонки, которую необходимо обеспечить.

Подгонку пакетов по емкости производят на приборах для измерения емкости (например, СВ-151, ИЕ-2 и др.) и приспособлениях, представляющих собой контактную колодку с прижимной планкой, подключаемую к измерительным зажимам прибора. Размеры контактов и прижимной планки определяются габаритами пакета. Перед работой измерительный прибор вместе с подключенным к нему приспособлением настраивают.

Пакет, подлежащий подгонке, укладывают на медные контактные пластины приспособления так, чтобы фольговые выводы были направлены вниз, касаясь контактов, и прижимают планкой, которая связана тягой с педалью. Определяют действительную емкость прижатого пакета и сравнивают ее с допустимой по специальным таблицам подгонки емкости. Так, пакеты конденсаторов КСГ-1 номинальной емкостью 100 пФ с допуском ±2% имеют пределы емкости 97,5–98,3 пФ.

Если емкость пакета больше максимально допустимой, следует осторожно специальным скребком счистить часть слоя серебра с верхней слюдинки до получения необходимого значения. Счищать слой серебра надо с одного угла площади серебрения, чтобы на поверхности слюды не оставалось островков серебряного слоя и царапин. Линия зачистки должна быть по возможности ровной. Если емкость пакета недостаточна, следует добавить слюду или фольгу до получения заданной емкости. Затем пакет опускают в церезин и передают на повторную подпрессовку, после чего его емкость снова подгоняют.

При сборке пакетов на автомате емкость конденсаторов рассчитывается по толщине и количеству пластин слюды в нем, при этом пластины определенной толщины укладываются в соответствующие кассеты автомата, что обеспечивает сборку пакета заданной емкости и не требует дополнительной подгонки.

§ 43. ПРОПИТКА И ОПРЕССОВКА ПАКЕТОВ

Для пропитки слюдяных конденсаторов в большинстве случаев применяют церезин. Вакуумную сушку и пропитку выполняют в вакуум-пропиточных установках (см. рис. 24).

Подлежащие пропитке пакеты или конденсаторы укладывают в сетчатые металлические корзины (конденсаторы должны быть уложены заливочными отверстиями вверх). Закрывают оба бака герметично крышками и по достижении в них температуры 110° С ± 10° С, которую определяют по показанию термометров, включают вакуум-насос. Давление должно быть не более $2{,}6 \cdot 10^2$ Па. При таких температуре и давлении конденсаторы ССГ и КСГ сушат не менее 5 ч, а КСО – в течение 0,5–1 ч. Пакеты конденсаторов ССГ, СГМ и СГМЗ сушат не менее 2 ч, а КСО – около 1 ч. В другом баке в это время сушат церезин.

Окончив сушку, приступают к пропитке пакетов или конденсаторов. Церезин из бака, где проводилась его сушка, перегоняют в бак с пакетами или конденсаторами. Выключают вакуум-насос и постепенно подают в бак с церезином атмосферное давление.

При пропитке пакетов или конденсаторов, опрессованных пластмассой, корзины с ними помещают в центрифугу, где происходит удаление излишков церезина. Для удаления излишков церезина из герметизированных кон-

денсаторов в металлических корпусах (КСГ-2) их устанавливают на приспособлениях под углом 30–45° к горизонтали, а затем конденсаторы передают на пайку заливочных отверстий, которую выполняют на горячих конденсаторах.

Пакеты слюдяных конденсаторов некоторых типов для влагозащиты опрессовывают термореактивной пластмассой. Термореактивными являются пластмассы, обладающие способностью под воздействием температуры и давления размягчаться, а затем переходить в неплавкое и нерастворимое состояние. Этот процесс необратимый: вторичной переработке термореактивную пластмассу подвергнуть нельзя. Для опрессовки конденсаторов КСО применяют наиболее распространенные из термореактивных пластмасс – фенольные пресс-порошки.

Опрессовывают пакеты конденсаторов не непосредственно пресс-порошком, а двумя заранее заготовленными из него таблетками. Выполняют опрессовку на стандартных гидравлических прессах, обеспечивающих удельное давление $2{,}9 \cdot 10^4$ кПа. В большинстве случаев используют прессы с обязательным подогревом верхних и нижних плит, оборудованные автоматикой, регулирующей температуру подогрева и обеспечивающей необходимую выдержку времени при заданном давлении. Каждый пресс должен быть снабжен двумя многоместными пресс-формами. Если пресс переоборудован для двухъярусного прессования, используют четыре пресс-формы.

Перед работой плиты пресса и пресс-формы подогревают 1,5–2 ч до 170–185°С. На рабочем столе в пазы разогретой пресс-формы с помощью специального приспособления (трафарета) укладывают предварительно просушенные таблетки, на них – пакеты, также просушенные не менее 20 мин при 50–60°С. Сверху на уложенные пакеты снова укладывают таблетки. Пакеты должны быть расположены в горизонтальном положении без смещений по отношению к таблеткам. Затем верхнюю часть пресс-формы совмещают с нижней, подают на рабочую плиту пресса и включают его. При двухъярусном прессовании подготовляют вторую пресс-форму и тоже перемещают ее под пресс до момента его включения. Соответствующим образом настроенная автоматика пресса обеспечивает автоматическую выдержку режима в зависимости от типа конденсатора, а также смыкает и размыкает плиты пресса.

Вынутую из пресса пресс-форму разбирают, опрессованные конденсаторы вынимают, помещают в специальную металлическую тару и снимают с них облой. Освобожденную пресс-форму продувают сжатым воздухом, а затем загружают таблетками и пакетами для очередного прессования. Чтобы пресс-порошок не прилипал к пресс-формам, обе половинки ее вкладышей смазывают церезином.

При опрессовке пакетов пластмассой необходимо строго соблюдать технологические режимы, иначе появится брак. Так, превышение температуры прессования или недостаточная выдержка под давлением могут привести к вздутиям на поверхности конденсаторов. Это же явление наблюдается при нарушении режимов подсушки и подогрева таблеток, так как в пресс-материале может быть большое количество влаги и газообразных продуктов. Недопрессовка – рыхлость и пористость поверхности опрессованного конденсатора – может появиться при пониженной или повышен-

ной температуре прессования, низкой текучести пресс-материала или если в пресс-форму загружено недостаточное количество материала (неправильная дозировка пресс-порошка при изготовлении таблеток). При недостаточном времени прессования или при резкой разнице температур верхней и нижней частей пресс-формы наблюдается коробление или деформация изделия.

Матовость и пятнистость поверхности могут появиться при плохой полировке внутренней поверхности вкладышей пресс-формы или нарушении целостности слоя хрома, а также при использовании неочищенной пресс-формы. Поэтому работать следует только на исправных и очищенных пресс-формах. Периодически для лучшей очистки следует в течение 2–4 ч прокипятить пресс-формы в растворе кальцинированной соды, а затем протереть вкладыши тканью, смоченной бензином. Матовая и пятнистая поверхность может возникнуть также, если в пресс-материале занижено количество смолы. Такой материал следует заменить.

Применение слишком сырого материала приводит к волнистости поверхности и появлению на ней прожилок. Пониженная температура прессования, недостаточное время выдержки изделия под давлением, повышенная влажность пресс-порошка, наличие в нем посторонних примесей и отклонение состава от стандарта снижают электрические характеристики конденсаторов.

При недостаточном давлении или превышении температуры прессования, а также увеличенном количестве пресс-материала в пресс-форме наблюдается в местах разъема вкладышей утолщенный облой. Плохая смазка пресс-формы и грязь являются причиной прилипания изделия, затрудняют его извлечение.

§ 44. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ СЛЮДЯНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Изготовление слюдяных конденсаторов – сложный процесс, во многом зависящий от свойств и качества природного диэлектрика – слюды, а также подготовки и чистоты материалов, применяемых для изготовления обкладок. Схема технологического процесса изготовления слюдяных конденсаторов приведена на рис. 79.

Изготовление слюдяных конденсаторов начинается с подготовки исходных материалов. На этой операции слюду, рассортированную по толщине на группы от 20 до 70 мкм, промывают, прокаливают, сушат, разбраковывают по внешнему виду, укладывают в кассеты-магазины и подают на операцию серебрения или нанесения обкладок. Эти операции, связанные с нанесением на поверхность слюды слоя металла, позволяют изготовить обкладки конденсатора испарением серебра в вакууме и конденсацией его на поверхности слюды или нанесением серебросодержащей пасты через трафарет на слюду с последующим ее вжиганием. Толщина слоя серебра, наносимого способом вакуумного напыления или вжигания, соответственно не превышает 1 и 2–2,5 мкм.

После операции серебрения слюды и контроля качества серебряного слоя кассеты с серебряными слюдяными пластинами поступают на проверку электрической прочности, а затем на сборку пакетов конденсаторов. На операции сборки пакетов производится укладка диэлектрика – слюды и

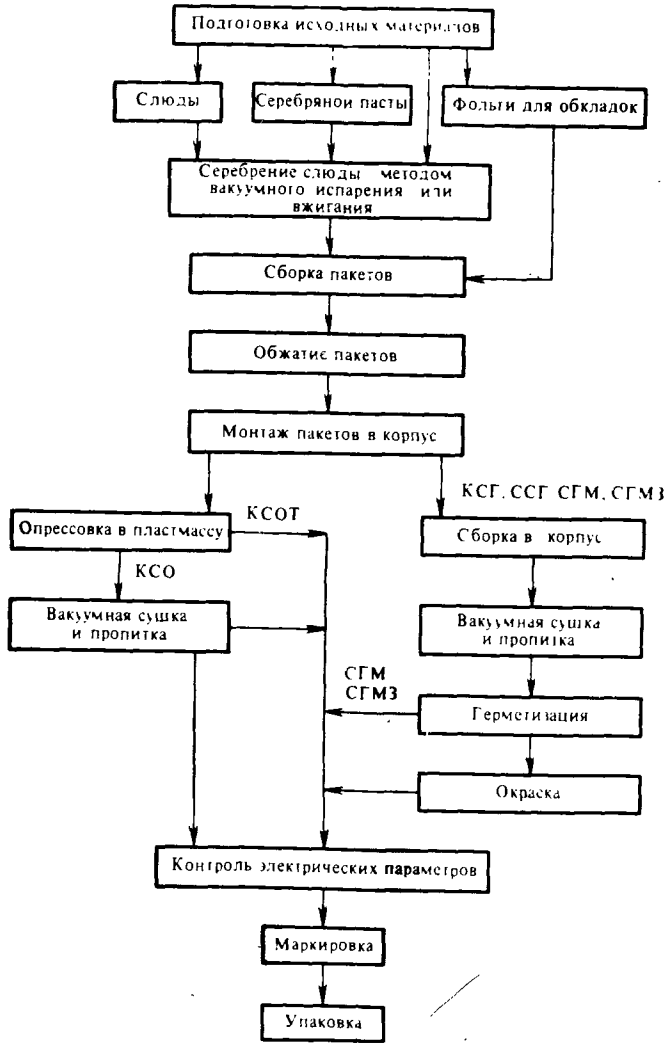


Рис. 79. Схема технологического процесса изготовления слюдяных конденсаторов

обкладок – фольговых или серебряных слюдяных пластинок в определенной последовательности. Последовательность сборки и вид обкладок обычно указаны в рабочем чертеже, технологической карте и схеме сборки. В схеме приведены также количество и толщина слюдяных пластинок, количество и вид обкладок (фольговые или серебряные), а также выводов.

После сборки пакеты проверяют на короткое замыкание, фиксируют расплавленным церезином, охлаждают на воздухе и передают на подпрессовку. При подпрессовке пакетов на специально оборудованном гидравли-

ческом прессе удаляется лишний церезин, вытесняется воздух, имеющийся между пластинами, а оставшийся церезин распределяется по поверхности пластин более равномерно, и пакеты приобретают большую влагостойкость и механическую прочность.

Пакеты выдерживают между плитами пресса 12–20 мин без давления при 110–130°С, а затем 20–30 мин под давлением около $3 \cdot 10^3$ кПа. Затем давление снимают, вновь выдерживают пакеты между плитами 15–20 мин для частичного охлаждения и передают на дальнейшую обработку.

Поскольку слюдяные конденсаторы изготовляют с малыми допустимыми отклонениями емкости от номинальной (±0,3%, ±0,5%, ±2%, ±5%), для получения таких допусков пакеты должны пройти операцию подгонки емкости. Если емкость велика, с поверхности серебряной слюдяной пластинки удаляют часть серебряного слоя, а если мала, добавляют лишнюю серебряную пластинку. Подгонку выполняют на специальном приспособлении при непрерывном измерении емкости.

Подогнанные по емкости пакеты обжимают медными или латунными обжимками для окончательной фиксации слюдяных пластин и обкладок, создания надежного контактного соединения, повышения стабильности емкости и механической прочности конденсатора. Для этого укладывают в гнезда матрицы, расположенной на плите пресса, две обжимки, на которые помещают пакет и защитные прокладки. Затем ходом ползуна пресса выполняют подпрессовку и обжатие пакета обжимками. Обжатый пакет снимают с пресса и укладывают в специальную тару.

После обжатия пакеты конденсаторов ССГ, КСГ-1 и КСГ-2 подают на операцию приварки обкладок к обжимке на сварочном станке. В конденсаторах СГМЗ фольговые выводы соединяют с обжимкой пайкой. Затем пакеты в зависимости от конструкции конденсатора передают на операцию опрессовки в пластмассу или сборки в корпусе. Обе операции выполняют для улучшения влагостойкости и герметичности конденсаторов. В пластмассу опрессовывают конденсаторы КСО и КСОТ. Опрессовку выполняют на гидравлических прессах с усилием прессования 60–150 кН, оснащенных плитами с подогревом. Температура подогрева 175 ±10°С поддерживается с помощью автоматических регуляторов.

Пакеты конденсаторов КСГ и ССГ помещают в металлические, а СГМ и СГМЗ – в керамические корпуса. Перед монтажом в корпусе пакеты конденсаторов КСГ-2 и ССГ монтируют в коробку из электрокартона, пропуская проволочные выводы через ее стенки. Эту операцию выполняют для изоляции пакета от металлического корпуса. Затем коробку с пакетом помещают в металлический корпус, а проволочные выводы пропускают через трубочки стеклянных проходных изоляторов, закрывают корпус крышкой и передают конденсаторы на пайку.

В связи с некоторым различием конструкций конденсаторов КСГ-1 и КСГ-2 последовательность выполнения операций монтажа в корпус конденсатора КСГ-1 несколько иная. Пакеты этих конденсаторов в электроизоляционных коробках монтируют в металлические корпуса, куда укладывают припой. Затем корпус закрывают крышкой, пропуская проволочные выводы через трубочки керамических изоляторов, размещенных в крышке и корпусе, и передают конденсаторы на операцию пайки крышки.

Конденсаторы СГМ и СГМЗ собирают в керамические корпуса. Предварительно обертывают пакеты полистирольной пленкой так, чтобы они плотно входили в корпус, отгибают ленточные выводы на торцы его стенок, подрезают длинные концы выводов и передают на операции вакуумной сушки и пропитки. При вакуумной сушке из пакетов и корпусов удаляются влага и воздух, которые при пропитке замещаются пропиточным составом (церезином), имеющим высокие диэлектрические характеристики.

Пакеты конденсаторов и конденсаторы в металлических корпусах загружают в бак, где при 110°С ±10°С и остаточном давлении 266 Па их в зависимости от типа сушат 0,5–5 ч. Конденсаторы в металлических корпусах поступают на сушку и пропитку запаянными. Для их пропитки в крышках имеются специальные отверстия. После сушки в бак подают расплавленный церезин, доводят давление до 266 Па и при 110°С ±10°С в течение 0,5–4 ч пропитывают конденсаторы. Затем пакеты или конденсаторы вынимают из бака и помещают в центрифугу для удаления излишков церезина. Конденсаторы в металлических корпусах передают на герметизацию – пайку заливочных отверстий ручными паяльниками, которую выполняют только на горячих конденсаторах.

При герметизации конденсаторов в керамических корпусах вначале, до пропитки, к выводу секции ручным паяльником припаивают один вывод – колпачок, который затем припаивают к серебряному пояску корпуса. После пропитки и удаления излишков церезина припаивают второй вывод.

После герметизации конденсаторы в металлических и керамических корпусах передают на промывку в специальных установках для удаления с поверхности остатков церезина и флюса. Поверхность конденсаторов последовательно обрабатывается моющими растворами и чистой горячей водой для удаления остатков моющего раствора. Затем конденсаторы сушат в потоке горячего воздуха. Качество промывки определяют с помощью ртутно-кварцевых ламп, в лучах которых места загрязнений начинают флюоресцировать. Промытыми считаются конденсаторы, на поверхности которых отсутствуют флюоресцирующие пятна. После проверки качества промывки конденсаторы передают на операцию контроля качества герметичности (см. § 27).

После контроля герметичности конденсаторы обезжиривают и передают на окраску для защиты металлического корпуса от коррозии и придания изделиям товарного вида. Окрашивают конденсаторы окунанием в ванну с краской, пульверизацией или вручную кистью.

Для окраски слюдяных конденсаторов используют пентафталевые эмали различных марок. Окрашенные конденсаторы сушат в сушильных устройствах, а затем передают на операцию контроля электрических параметров. Конденсаторы, прошедшие этот контроль, поступают на маркировку и сушку.

Маркировку на слюдяные конденсаторы КСГ, ССГ и СГМ наносят офсетной печатью, а на КСО и КСОТ – горячим тиснением на автоматах.

После маркировки конденсаторы упаковывают в коробки, на которые также наносят маркировку.

Контрольные вопросы

1. Для чего отбирают слюду по внешнему виду?
2. Каков принцип действия автомата для сортировки слюды по толщине?
3. Как кассетируют слюду?
4. Каков принцип действия полуавтомата сборки пакетов?
5. Для чего пакеты слюдяных конденсаторов после сборки окунают в церезин?
6. Для чего подпрессовывают пакеты слюдяных конденсаторов и как подгоняют их емкость?

ГЛАВА ПЯТАЯ

КЕРАМИЧЕСКИЕ, СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ, СТЕКЛОЭМАЛЕВЫЕ И СТЕКЛОПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

§ 45. КЕРАМИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

В настоящее время наиболее массовыми являются конденсаторы с керамическим диэлектриком. В зависимости от состава диэлектрика выпускаются керамические конденсаторы трех типов.

К первому типу относятся конденсаторы, для изготовления которых используются высокочастотные керамические материалы с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r > 12$. В соответствии с этим различают 12 групп материалов: П33, МП0, М33, М47, М75, М150, М220, М330, М470, М750, М1300, М3300.

Ко второму типу относятся конденсаторы, для изготовления которых используются низкочастотные керамические материалы ($\epsilon_r > 900$). Материалы этого типа разделяются на 6 групп: Н10, Н20, Н30, Н50, Н70, Н90.

К третьему типу относятся конденсаторы, для изготовления которых используется полупроводниковая сегнетокерамика на основе $BaTiO_3$ и TiO_2. Эти материалы по температурному коэффициенту диэлектрической проницаемости не нормируются и разделяются на 3 группы: Н20, Н50, Н90.

Буквы обозначают: М – минус; П – плюс; МП – значение, близкое к нулю; Н – показывает, что ТКЕ не нормируется, а цифры – предельно допустимое изменение емкости (%) в интервале рабочих температур относительно ТКЕ, измеренного при 20°С.

Электрические свойства, т.е. дизлектрическая проницаемость и температурный коэффициент емкости (ТКЕ), зависят от химического состава керамических материалов, регламентированного ГОСТ 5458–75.

Керамические конденсаторы могут быть постоянной и переменной емкости (подстроечные).

Керамические конденсаторы постоянной емкости. Эти конденсаторы по конструкции бывают пластинчатыми (дисковыми или прямоугольными), цилиндрическими (трубчатыми), секционными и монолитными.

Дисковые конденсаторы КД-1, КД-2 применяют в контурных, разделительных или блокировочных цепях радиоэлектронной аппаратуры. Емкость этих конденсаторов 1–6800 пФ, а рабочее напряжение не превышает 250 В.

Конденсаторы КД (рис. 80) представляют собой керамические диски диаметром от 4,5 до 6,5 мм (КД-1) и от 6,5 до 16,5 мм (КД-2 и КДУ) и толщиной от 1 до 5 мм, на плоскости которых нанесены обкладки с припаянными проволочными выводами.

Конденсаторы КД-1 имеют однонаправленные проволочные выводы диаметром 0,4 мм, КД-2 – однонаправленные и разнонаправленные проволочные диаметром 0,6 мм, а КДУ – разнонаправленные лепестковые толщиной 0,2 мм и шириной от 2,5 до 8 мм, располагающиеся широкой стороной параллельно или перпендикулярно диску. Снаружи конденсаторы покрыва-

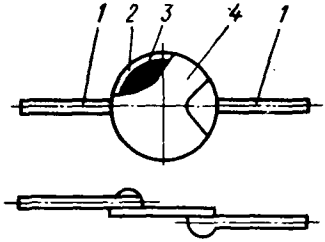


Рис. 80. Дисковый керамический конденсатор КД-1:
1 – внешние выводы, *2* – керамический диск, *3* – обкладка, *4* – защитное покрытие

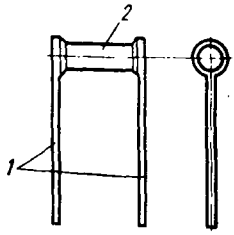


Рис. 81. Трубчатый керамический конденсатор КТ:
1 – внешние выводы, *2* – секция

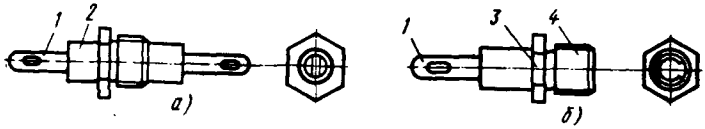


Рис. 82. Керамические конденсаторы:
а – проходной трубчатый КТП, *б* – опорный дисковый КДО; *1, 4* – лепестковые и резьбовой монтажный выводы, *2, 3* – керамические трубка и диск

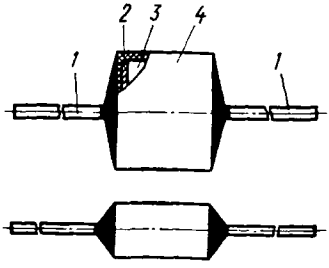


Рис. 83. Секционный керамический конденсатор КЛГ:
1 – внешние выводы, *2, 4* – контактный и защитный (наружное покрытие) слои, *3* – секция

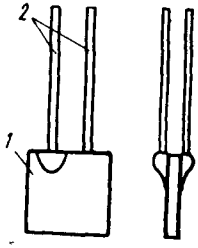


Рис. 84. Пластинчатый керамический конденсатор К10-7:
1 – секция, *2* – внешние выводы

ют защитной эмалью, цвет которой зависит от вида керамического материала.

Трубчатые конденсаторы КТ-1, КТ-2 и КТ-3 (рис. 81) применяются там же, где конденсаторы КД, имеют емкость от 1 до 10 000 пФ, и рассчитаны на рабочее напряжение до 750 В. Эти конденсаторы представляют собой керамическую трубку, на внутреннюю и наружную поверхности которой нанесены обкладки и припаяны однонаправленные радиальные проволочные выводы диаметром 0,4 мм (КТ-1) и 0,6 мм (КТ-2). Конденсаторы КТ-3 имеют лепестковые выводы толщиной 0,5 мм и шириной 3 мм, наружный диаметр этих конденсаторов – соответственно 3,5; 7 и 10 мм, а длина трубок без вывода в зависимости от номинальной емкости – от 10 до 20, от 12 до 25 и от 12 до 30 мм. Наружные и внутренние поверхности конденсаторов также покрыты защитной эмалью определенного цвета.

Проходные трубчатые КТП-1 – КТП-3 (рис. 82,*а*), опорные трубчатые К0-1, К0-2 и дисковые КДО-1, КДО-2 (рис. 82,*б*) керамические конденсаторы применяют в качестве фильтровых в цепях постоянного и переменного тока при рабочих напряжениях до 750 В. Эти конденсаторы для повышения надежности монтажа имеют лепестковые выводы или резьбовые выводы.

Секционные конденсаторы КЛС и КЛГ имеют секционную конструкцию (рис. 83), что позволяет получать значительные номинальные емкости при относительно малых габаритных размерах секций, и применяются в качестве контурных, разделительных и фильтровых в высокочастотных цепях и разделительных – в низкочастотных.

Пластинчатые конденсаторы в зависимости от номинального напряжения имеют разновидности К10-7 (на 250 В) и К10-7в (на 50 В). Конденсаторы К10-7 (рис. 84) представляют собой пластину диэлектрика прямоугольной формы толщиной 0,35–0,4 мм, на плоскости которой нанесены металлизированные обкладки. Между краем пластины и краями обкладок имеется зазор. Три пластины собирают в блок. Номинальная емкость конденсаторов К10-7 от 6,8 до 6800 пФ и от 0,01 до 0,033 мкФ, а К10-7в – от 22 до 6800 пФ и от 0,01 до 0,047 мкФ. Соответственно их размеры от 5Х5Х4 до 13,5Х13,5Х5,5 и от 4Х4Х3,5 до 12Х12Х4,5 мм.

Секции конденсаторов К10-7в такого зазора не имеют, что позволяет увеличить их удельную емкость за счет более полного использования поверхности пластины. Толщина пластин 0,18–0,22 мм. Так как промежутки между обкладками из-за отсутствия зазоров равны толщине пластины, номинальное напряжение конденсаторов К10-7в не превышает 50 В.

Для повышения механической прочности и влагостойкости конденсаторы покрывают эпоксидным компаундом.

Монолитные конденсаторы К10-9, К10-17, К10-23, К10-27, К10-42 (рис. 85,*а–д*), как и пластинчатые, являются малогабаритными. Основу монолитного конденсатора составляет секция, набранная из нескольких слоев диэлектрика толщиной от 0,025 до 0,015 мм.

Наиболее миниатюрные монолитные керамические конденсаторы К10-23, предназначенные для микросхем, имеют размеры 9Х4,5Х6 мм, выпускаются двух типов (с нормированным и ненормированным ТКЕ) и рассчитаны на работу в цепях постоянного и переменного тока напряжением 16 В, а также в импульсных режимах при температуре от –60 до +85°С. Конден-

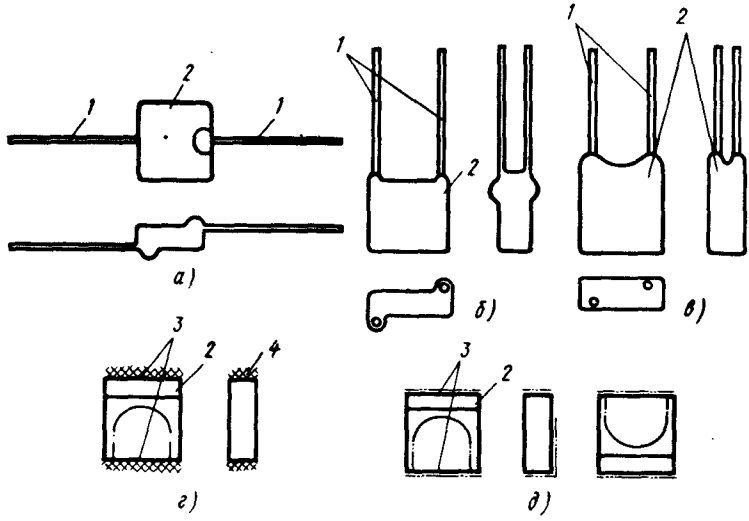


Рис. 85. Монолитные керамические конденсаторы:
а, б – неизолированные с одно- и разнонаправленными выводами, *в* – изолированный, *г, д* – неизолированные луженый и нелуженый для микросхем; *1* – внешние выводы, *2* – секция, *3* – контактный слой, *4* – слой припоя

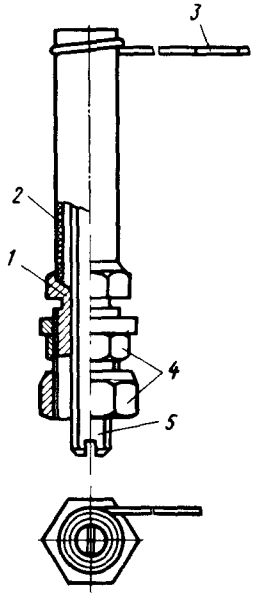


Рис. 86. Подстроечный керамический конденсатор КВК с воздушным диэлектриком:
1, 3 – резьбовой и проволочный выводы, *2* – корпус с обкладкой, *4* – гайки, *5* – ротор

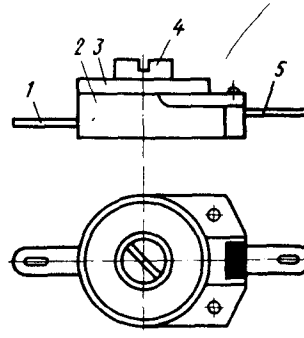


Рис. 87. Подстроечный керамический конденсатор КПК:
1, 5 – выводы ротора и статора, *2* – статор, *3* – ротор, *4* – ось

саторы первого типа используют, если предъявляются требования высокой стабильностью и малых потерь. Номинальная емкость конденсаторов первого типа от 2,2 до 3000 пФ, а второго – от 680 до 33 000 пФ. Наружная поверхность конденсаторов К10-23 покрыта эпоксидной смолой. Проволочные выводы диаметром 0,5 мм направлены в одну сторону; расстояние между выводами 5 мм.

Конденсаторы К10-17 имеют по сравнению с конденсаторами К10-23 лучшие удельные характеристики. Основой этих конденсаторов является секция, набранная из слоев диэлектрика толщиной 0,025 мм, число которых в зависимости от емкости может достигать 33.

Эти конденсаторы выпускаются двух исполнений: К10-17*а* и К10-17*в* для цепей постоянного и переменного тока, а также импульсных режимов, имеют емкость от 0,22 до 1,5 мкФ и рассчитаны на номинальное напряжение 25 В при температуре не выше +85° С. При меньших напряжениях они могут работать при температурах от –60 до +125° С.

Подстроечные конденсаторы. Подстроечными являются конденсаторы, емкость которых изменяется только в период настройки аппаратуры, а затем они работают как постоянные. Конденсаторы этого типа, как и все ранее рассмотренные, отличаются видом диэлектрика. Наибольшее распространение получили воздушные конденсаторы (диэлектриком служит воздух) и конденсаторы с твердым – обычно керамическим диэлектриком.

Воздушные подстроечные конденсаторы выпускаются двух типов: плоские и цилиндрические.

Плоские воздушные конденсаторы представляют собой многопластинчатую конструкцию, смонтированную на керамической плате и состоящую из неподвижных пластин (статора); соединенных между собой так, что между ними остаются зазоры до 0,25 мм, в которые вводятся жестко закрепленные на оси пластины ротора. Конденсаторы с воздушным диэлектриком выпускаются трех вариантов: прямоемкостные с углом поворота ротора 180°, типа "бабочка" с углом поворота ротора 90° и дифференциальные. Наибольшее распространение получили подстроечные воздушные конденсаторы КПВ и КПВМ (малогабаритные).

Цилиндрическими конденсаторами с воздушным диэлектриком являются воздушно-керамические КВК (рис. 86), имеющие посеребренный внутри трубчатый керамический корпус *2*. Серебряный слой служит одной из обкладок. Внутри корпуса перемещается металлический винт – ротор *5*, служащий второй обкладкой. Ротор фиксируется двумя гайками *4*. Для электромонтажа служат два вывода – резьбовой *1* и проволочный *3*. В зависимости от пределов изменения емкости эти конденсаторы выпускаются двух типов: КВК-2 и КВК-3 (соответственно диаметром 9,5 и 11,5 мм и длиной от 36,5 до 73 мм и от 54,5 до 110 мм).

Керамические плоские подстроечные конденсаторы выпускаются трех типов: КПК-1, КПК-2, КПК-3 и отличаются между собой, помимо емкости, конструкцией элементов поворота и фиксации ротора.

В связи с миниатюризацией аппаратуры были разработаны малогабаритные конденсаторы КПК-МН и КПК-МП соответствовенио для навесного и печатного монтажа. Освоен также выпуск конденсаторов КТ4-2 и КТ4-1Т, КТ4-21, 25, размеры которых еще меньше, чем у конденсаторов КПК-МП.

Конденсаторы КПК (рис. 87) выполнены в виде основания – статора *2* из установочной керамики, на верхнюю плоскость которого нанесена серебряная обкладка, соединенная с внешним выводом *5*, и ротора из конденсаторной керамики, на внешнюю сторону которого также нанесена серебряная обкладка, соединенная через ось *4* с выводом *1*. Обкладки имеют форму полукруга. Статор и ротор соединены между собой осью *4*.

При повороте ротора происходит уменьшение площади перекрытия обкладок и соответственно изменяется емкость конденсатора.

§ 46. ПРИГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАССЫ, ФОРМОВКА И ОБЖИГ ЗАГОТОВОК

Технологический процесс приготовления керамического материала и изделий из него, состоит: из приготовления керамических масс, оформления и обжига заготовок, обработки обожженных изделий.

Керамические массы приготовляют тремя способами:

смешиванием тонкодисперсных сырьевых компонентов и одновременным тонким измельчением и смешиванием сырьевых компонентов в мельницах периодического либо непрерывного действия. Наиболее распространено измельчение и смешивание компонентов в шаровых мельницах периодического действия.

Измельчение может выполняться раздавливанием, раскалыванием, истиранием, ударом и комбинированным воздействием.

Наиболее распространены раздавливание (в щековых, валковых и других дробилках) и удар в сочетании с истиранием (в шаровых и струйных мельницах). Кроме того, применяют сочетание раздавливания с истиранием (в конусных мельницах и дробильных бегунах), удар (в дезинтеграторах и бесколосниковых молотковых мельницах), раскалывание в сочетании с ударом и истиранием (в вибрационных шаровых мельницах и мельницах без мелющих тел).

В последнее время в производстве керамических конденсаторов для измельчения компонентов используют кавитацию, возникающую в жидкости под действием ультразвуковых колебаний. Наиболее перспективным считается вибропомол.

Качество измельчения характеризуется тониной помола (дисперсностью) – размерами полученных частиц материала. Так, при крупном дроблении размер частиц составляет до 10^5 мкм, при среднем – до 10^4, при мелком – до 10^3, при тонком измельчении – до 10^2, а при сверхтонком – до 10, 1 и 10^{-1} мкм.

Определенные размеры частиц получают на различном оборудовании. Так, щековые дробилки обеспечивают размеры частиц до 10^{-5} мкм, валковые – от 10^5 до 10^3, молотковые – от 10^5 до 10, электрогидравлические – от 10^5 до 10^{-1}, бегуны – от 10^5 до 10^2, ротационные шаровые мельницы – от 10^2 до 1, вибрационные сухого помола – от 10^2 до 1, а мокрого помола – от 10 до 10^{-1}, кавитационные мельницы – от 1 до 10^{-1}, а струйные (вибрационные) без мелющих тел – от 10^3 до 10^{-1} мкм. Измельчение, как правило, проводят в несколько этапов на различном оборудовании в зависимости от кондиции исходного материала и необходимой степени измельчения.

Так как в керамической массе недопустимы оксиды железа, рабочие поверхности оборудования выполняют из нержавеющих легированных или износостойких марганцовистых сталей, футеруют специальным камнем, а для особо чистых масс – специальной износостойкой резиной.

Каменистые материалы – тальк, кварц, полевой и плавиковый шпаты, магнезит, мрамор, кальцит, пегматит, волластенит измельчаются на дробильном оборудовании в один или несколько приемов.

Пластинчатые материалы – глины, каолин и бентониты – в молотковых мельницах.

Оксиды и синтезированные соединения (спеки), оксид алюминия Al_2O_3, диоксиды титана TiO_2 и циркония ZrO_2, карбонаты кальция, магния, бария и стронция, фториды кальция и бария подразделяются на твердые и мягкие материалы. Твердые измельчают в щековых, а затем валковых дробилках, а мягкие – на бегунах с решетчатым стальным подом и стальными катками. Каменистые материалы и твердые оксиды после измельчения проходят магнитную сепарацию для отделения оксидов железа.

Помол в шаровых мельницах имеет некоторые особенности. Измельчение в них происходит от одновременного действия удара и истирания. Эффективность каждого из этих действий зависит от частоты вращения барабана.

Мелкие фракции эффективнее измельчаются мокрым помолом с преобладанием эффекта истирания. Применение в этом случае вместо шаров цилиндрических тел увеличивает интенсивность помола, кроме того, целесообразно вводить поверхностно-активные вещества: сульфатный щелок и сульфатно-спиртовую барду.

Мелющие тела должны быть различных размеров, так как крупные оказывают более эффективное ударное действие, а мелкие – истирающее.

Недостатки помола в шаровых мельницах – большой намол футеровки и мелющих тел, а также длительность процесса.

Качество помола характеризуется двумя показателями; гранулометрическим составом и удельной поверхностью. Поверхностно-гранулометрический состав определяют:

ситовым анализом, при котором помолотая масса пропускается через несколько сеток с размерами ячеек, соответствующими категории тонины помола; при рассеве порошков с размерами частиц более 0,1 мм точность измерения 1–3%, а при рассеве тонкодисперсных порошков – 10–20%;

седиментометрическим анализом, при котором дисперсность рассчитывают по скорости осаждения частиц различного размера в жидкой среде;

турбодиметрическим анализом, при котором и удельную поверхность материала (размер поверхности 1 г материала) находят методами, основанными на эффектах адсорбции (газа или красителя из водной среды), теплоты смачивания, скорости фильтрации и др. Наиболее простой и быстрый метод основан на зависимости скорости прохождения воздуха через слой порошка от его удельной поверхности.

Измельченные, смешанные между собой и разбавленные водой в шаровой мельнице керамические фракции образуют полужидкую массу, называемую шликером. В шликере содержится от 40 до 60% воды. Из шаровой мельницы шликер пропускается через магнитный сепаратор и вибросито, сливается в пропеллерную мешалку и непрерывно перемешивается в ней,

чтобы предотвратить осаждение крупных частиц и компонентов большой плотности, а затем поступает на операцию оформления заготовок (формообразование).

На этой операции из керамической массы в виде шликера или полученной из него формовочной массы получают заготовки определенной конфигурации и необходимых размеров, которые передают на сушку и обжиг. Наиболее широкое распространение получили следующие способы получения заготовок из шликера:

литье в гипсовые формы, горячее литье под давлением и литье на подложку (получение литых пленок). Из формовочной массы заготовки получают пластичным формообразованием (протяжкой). Кроме того, заготовки получают сухим или пластическим прессованием, а также штамповкой пресс-порошков.

Литье в гипсовые формы основано на свойстве пористых тел отбирать часть воды из шликера в результате капиллярного действия и диффузионных процессов и применяется для изготовления крупных заготовок сложной формы, однородных по структуре и плотности (например, для высоковольтных конденсаторов). Шликер заливают в гипсовую форму, имеющую оттиск формуемой детали, и выдерживают. Гипс постепенно отбирает воду из шликера и, когда керамическая масса приобретает определенную форму и твердость, форму разбирают. Этот процесс удобен, но малопроизводителен (из-за длительности отвердевания шликера).

Горячим литьем под давлением получают заготовки высокой точности. Предварительно отвакуумированный шликер подогревают в баке с водяной или масляной рубашкой, в которой размещены электронагреватели. В верхнюю полость герметичного бака подается сжатый воздух, и шликер под давлением заполняет форму; давление выдерживают, пока заготовка не отвердеет. Этим методом изготовляют секционные конденсаторы КЛС.

Приготовление шликера осуществляется в обогреваемых смесителях.

Для получения керамических пленок методом литья на подложку шликер равномерной полосой подается из специальной фильеры на непрерывно движущуюся под ней подложку, подсушивается до определенной твердости и снимается. Керамические пленки используются в производстве монолитных конденсаторов КМ и др.

Предварительно в шликер добавляют специальные связующие высокомолекулярные вещества. Перед литьем шликер вакуумируют. В качестве подложек используют органические пленки, непрерывные ленты из специальной стали с полированной поверхностью, листы стекла и полистирола и другие материалы.

Для улучшения снятия подсушенной керамической пленки подложки протирают специальными смазками. Толщина отливаемой пленки регулируется расстоянием между фильерой и подложкой. После наливки пленки сушат на воздухе 3–4 ч при 50–60°С, снимают и режут на полотна.

Кроме того, заготовки изготовляют из формовочных масс, которые приготовляют из шликера. Формовочная масса должна иметь определенную твердость, достаточную для сохранения приданной формы, для чего шликер

обрабатывают на фильтр-прессах (для удаления воды) и вакуум-мялках.

Фильтрпрессование (отжатие) выполняют через плотный материал под высоким давлением, создаваемым мембранными насосами в специальных рамках фильтр-пресса. Остаточная влажность массы зависит от давления, времени выдержки, толщины коржа и температуры. Вместо фильтр-прессов применяют барабанные вакуумные и прессовые установки непрерывного действия, а также установки электрофореза. Полученную массу передают на вылеживание (старение), а затем дополнительно проминают (усредняют) и уплотняют. Для этого используют вакуум-мялки, в которых масса продавливается шнек-прессом через решетку в вакуумную камеру $(1,7 \div 7) \cdot 10^{-3}$ Па). В этой камере из массы выделяются пузырьки воздуха, она попадает на второй шнек-пресс и продавливается через специальный мундштук, который придает ей необходимые форму и размеры. После такой обработки масса становится пластичной, т.е. способна принимать под влиянием внешнего воздействия необходимую форму (без разрыва сплошности) и сохранить ее после прекращения воздействия.

Пластичное формообразование представляет собой протяжку, резку и подсушку заготовок правильной геометрической формы (цилиндрической, трубчатой, квадратной) и осуществляется на вакуум-прессах или вакуум-мялках.

Протяжка – наиболее распространенный процесс в производстве керамических конденсаторов, например трубчатых КТ. После формовки заготовки первоначально сушат на воздухе, а затем в специальных камерах при 200–250°С, вторично выдерживают при нормальной температуре и прогревают при температуре 80°С.

Заготовки сложной формы по образующей стороне (высоковольтные изоляторы) дополнительно механически обрабатывают на токарных, фрезерных или сверлильных станках специальными резцами.

Сухое и пластическое прессование порошков – простой, дешевый и производительный процесс, обеспечивающий высокую точность размеров получаемых заготовок (например, подстроечных конденсаторов, изоляторов, установочной керамики и других деталей).

Порошки для прессования приготовляют различными способами: в лопастном смесителе или на бегунах с последующим гранулированием (через сито), иногда дроблением брикетированной массы (пластичные порошки); на бегунах с обогреваемым подом (термопластичные порошки); в вибрационных камерных и других смесителях (часто с одновременным вакуумированием). Свойства порошков характеризуются: пластичностью – возможностью образования изотропной структуры прессованной заготовки; сыпучестью – возможностью равномерной засыпки порошка в рабочую камеру пресс-формы; усадкой – изменением первоначальных размеров заготовки после обжига, происходящим в результате перекристаллизации структуры (уплотнения) при спекании. Выполняют прессование на гидравлических, механических и пневматических прессах.

Сухое прессование – это получение заготовок из порошков с неводными органическими или гидроорганическими пластификаторами (наиболее распространен поливиниловый спирт) на механических прессах-автоматах. Номинальное удельное давление прессования $(1,2 \div 2,5) \cdot 10^5$ кПа.

Пластическое прессование – это получение заготовок из пластичных порошков, которые при достаточно большом внешнем воздействии с однородной плотностью заполняют все части пресс-формы. Прессование выполняют на гидравлических прессах при удельном давлении для заготовок с неразвитой формой $(5 \div 7) \cdot 10^4$ кПа, а сложной формы – $(1 \div 1{,}2) \cdot 10$ кПа.

Штампование –это получение заготовок сложной объемной формы из высокопластичных порошков с большой неравномерностью распределения массы по объему пресс-формы. При этом используются простые пресс-формы, а процесс высокопроизводителен. В пресс-порошки вводятся пластификаторы на основе растительных дегтей, а также сосновая смола, касторовое и льняное масло, продукты переработки нефти, сланцев и каменного угля, дистиллатный экстракт, битум, мазут. Удельное давление $(6 \div 8) \cdot 10^3$ кПа.

Заготовки, полученные любым видом формообразования, подвергают прогреву, предварительной и окончательной сушке в прямоточных, тунельных, конвейерных, барабанных или камерных печах. Высушенные заготовки обжигают.

Иногда используют бесшликерный способ приготовления пластичной формовочной массы. В этом случае в керамические порошки вводят пластификаторы (в виде эмульсии или раствора) и перемешивают массу в смесителях различного типа, а затем вакуумируют в вакуум-мялках.

Когда требуется особая водонепроницаемость изделий, стойкость к воздействию агрессивных сред и загрязнений, поверхность изделий глазируют. Для этого отформованные и подсушенные заготовки методом погружения покрывают жидкой глазурью, подсушивают и передают на обжиг. Места, где глазури не должно быть предварительно покрывают специальной смазкой. Глазурь представляет собой алюмосиликатное или алюмоборосиликатное стекло. Толщина глазурованного покрытия (после обжига) $0{,}15 \div 0{,}3$ мм.

В результате обжига керамическая масса спекается, превращаясь в плотную механически прочную монолитную структуру.

Спекание может происходить в твердой (однокомпонентных материалов) и жидкой (многокомпонентных) фазах. Спекание в твердой фазе состоит из двух фаз: вначале происходит сближение центров частиц и увеличение площади их контакта (заплывание промежутков), а затем – частичное вязкое заплывание разобщенных пор. Спекание в жидкой фазе имеет специфичную фазу – жидкую, при которой происходит расплав легкоплавких компонентов с образованием новых соединений при частичной диффузии тугоплавких компонентов в расплав.

Обжиг керамики выполняют при строго определенных температурах в газовой среде. Изменения режима обжига значительно изменяют свойства керамики. При обжиге заготовки нагревают, выдерживают при определенной температуре, а затем охлаждают. Температура обжига керамики в печах периодического (горны, камерные) и непрерывного (туннельные, щелевые) действия 1270–1300°С.

Для контроля температуры используются пирометры, термопары с самопишущими приборами, фотоэлектрические и радиационные приборы, давления – V-образные стеклянные манометрические трубки, жидкостные и мембранные тягонапоромеры, а газового состава – газоанализаторы.

Регулируется температура вручную или автоматически. Есть печи с автоматической системой регулирования режимов обжига.

Состояние поверхности, точность геометрической формы и размеры керамических заготовок должны отвечать высоким требованиям, так как эти факторы влияют на электрические характеристики и, кроме того, на возможность соединения с другими деталями (металлическими). Основными видами обработки керамических заготовок являются шлифовка, резка и металлизация.

Плоские поверхности шлифуют с одной или двух сторон, в том числе и торцы (плоское шлифование), а цилиндрические – снаружи и внутри (круглое шлифование).

Керамику шлифуют свободным и связанным абразивом, иногда используя ультразвук. Чаще ультразвук применяют при сверлении фасонных и цилиндрических отверстий небольших размеров и резке пластин. Припуски на шлифовку составляют 0,5–1,0 мм для мелких деталей и 1–3 мм для крупных.

Плоские и круглые заготовки шлифуют как на серийных (металлообрабатывающих), так и на специальных станках.

§ 47. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПАСТ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

В качестве обкладок керамических конденсаторов используют серебро, платину, палладий, так как они имеют высокую электропроводность и коррозионно устойчивы. Рассмотрим процесс приготовления серебросодержащей пасты для нанесения серебряных обкладок. Паста состоит из мелкодисперсного серебра и этилцеллюлозного лака.

Мелкодисперсное серебро начинают приготовлять с отвески компонентов исходной смеси: азотнокислого серебра (62,9%), двууглекислого (18,55%) и муравьинокислого (18,55%) натрия. Смесь растворяют в дистиллированной воде из расчета 1,5–2 л воды на 100 г смеси. При этом происходит реакция восстановления серебра, сопровождающаяся выделением углекислого газа. Сосуд со смесью помещают на 1,5–2 сут в термостат при температуре 60–70°С. Когда полностью прекратится выделение пузырьков углекислого газа, сосуд вынимают из термостата и проверяют полноту осаждения серебра. Если при добавлении нескольких капель раствора двууглекислого натрия не появится муть, осаждение серебра полное. В ином случае нужно добавить небольшое количество двууглекислого и муравьинокислого натрия и продолжать реакцию.

Полученный раствор фильтруют через воронку Бюхнера, на решетку которой укладывают в три слоя бумажный фильтр, смоченный дистиллированной водой. Оставшийся осадок 2–3 раза промывают дистиллированной водой, которую отсасывают под вакуумом, пока не прекратится частое выделение капель. Осадок вместе с фильтрами помещают в фарфоровую или из нержавеющей стали ванночку, которую устанавливают в термостат и просушивают при 110–150°С до полного высыхания. Полученное мелкодисперсное серебро переносят в плотно закрывающийся стеклянный сосуд и хранят в нем.

Следует отметить, что в результате реакции восстановления получается

не чистое металлическое серебро, а мелкодисперсное серебро с некоторым количеством солей натрия. Среднее содержание серебра в мелкодисперсном серебре, устанавливаемое анализом проб, должно быть 98,5%.

Этилцеллюлозный лак приготовляют из растворителя РДВ (100 $см^3$) и этилцеллюлозы (4–5 г) в металлическом сосуде или лакомешалке, периодически или непрерывно перемешивая смесь не менее 6 ч. Вязкость полученного лака, определяемая по воронке НИИЛК, должна быть порядка 20–25 с.

Пасту для обкладок приготовляют в фарфоровом барабане на шаровой мельнице, куда загружают заранее отвешенные и отмеренные составные части из расчета на 1 кг сухого мелкодисперсного серебра 600 $см^3$ этилцеллюлозного лака и необходимое количество фарфоровых шаров, герметично закрывают его крышкой и устанавливают на шаровую мельницу. Помол пасты происходит в течение 24 ч при частоте 60–65 об/мин. Затем пасту фильтруют через проволочную плетеную сетку № 01 (3460 отверстий на 1 $см^2$) и сливают в плотно закрывающийся стеклянный сосуд. Вязкость пасты должна быть 20–25 с, а плотность 1,8–2,0 г/$см^3$. Хранить пасту можно не больше 10 дней, иначе серебро окисляется, осаждается на дно сосуда и плохо поддается перемешиванию вручную.

Перед употреблением пасту необходимо тщательно перемешать до получения однородной массы. Если паста хранилась более суток, надо определить ее вязкость и при необходимости разбавить растворителем РДВ.

§ 48. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ СЕКЦИЙ КОНДЕНСАТОРОВ

Секции керамических конденсаторов для герметизации окрашивают, а затем сушат на специальной линии, которая состоит из машины первой окраски, конвейерной печи сушки с инфракрасными излучателями, машины второй окраски и печи сушки, аналогичной первой.

В машине окраски (рис. 88) применен метод окрашивания изделий струей краски, фонтанирующей из специальной насадки. Шестеренчатый на-

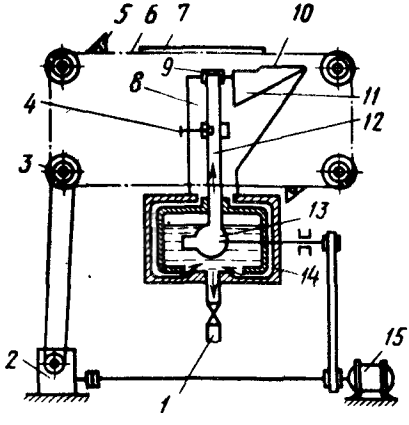


Рис. 88. Схема машины окраски конденсаторов струей фонтанирующей краски: *1, 4* – сливной и регулирующий краны, *2* – редуктор, *3* – звездочка, *5* – захват, *6* – цепной конвейер, *7* – направляющая, *8* – сборник краски, *9* – насадка, *10* – выступ каплесъемника, *11* – каплесъемник, *12* – труба, подающая краску, *13* – шестеренчатый насос, *14* – кожух-сборник насоса, *15* – электродвигатель

сос *13,* приводимый в действие через ременную передачу от электродвигателя *15,* подает краску в трубу *12,* откуда она выходит в виде плоской струи, направленной под углом 45° к горизонтали. Форму и направление струе дает специальная насадка *9;* высоту струи регулируют краном *4.*

Уложенные в рейку конденсаторы подают по направляющим *7* под струю краски. По мере продвижения рейки окрашенные конденсаторы попадают на репетчатый каплесъемник *11,* на котором избыток краски стекает с конденсаторов в зазоры между пластинами репетки. При дальнейшем продвижении конденсаторы поворачиваются на выступе *10* каплесъемника, который удаляет излишки краски с другой стороны конденсатора. После первой окраски рейки с конденсаторами попадают в конвейерную печь сушки с инфракрасными излучателями.

Интенсивное инфракрасное излучение дают специальные лампы, преобразующие до 90% поглощаемой электрической энергии в энергию излучения инфракрасной части светового спектра. Внутри лампы имеется блестящий слой, концентрирующий инфракрасное излучение.

При сушке эмали ЭКР-1 происходит ее полимеризация, заключающаяся в укрупнении молекул. При полимеризации потребляется значительное количество энергии. Скорость полимеризации зависит от скорости притока тепла. При сушке инфракрасными лучами теплооблучение конденсатора происходит непосредственно и быстро, а факторы конвекции и теплопроводности играют второстепенную роль. Кроме того, инфракрасные лучи хорошо поглощаются эмалью и проникают в ее слой, поэтому сушка идет в объеме, а не на поверхности.

Кинематическая схема печи сушки конденсаторов инфракрасными лампами показана на рис. 89. Рейки с окрашенными конденсаторами цепным конвейером подаются через печь между лампами инфракрасного излучения, которые расположены с четырех сторон, и на выходе из печи поступают на машину вторичной окраски, а с нее во вторую печь сушки.

Установленные в печах лампы ЭС-2 мощностью 500 и 250 Вт (в первой печи 18 шт., а во второй 60 шт.) перед включением необходимо проверить. Если все лампы исправны, включают обе печи. Температура их должна быть

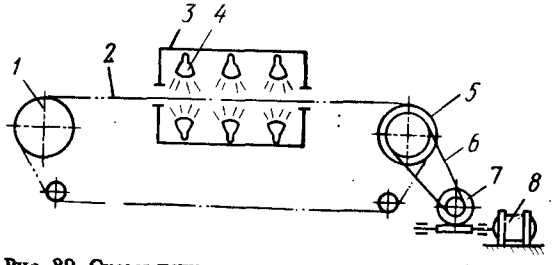


Рис. 89. Схема печи сушки конденсаторов инфракрасными лампами:
1, 5 – звездочки конвейера, *2* – цепной конвейер с захватами, *3* – корпус печи, *4* – лампы инфракрасного излучения, *6* – приводная цепь, *7* – червячная передача, *8* – электродвигатель

160–180°С. Правильный температурный режим при наличии всех ламп обеспечивается конструкцией печи. Время прохождения конденсаторами первой и второй печей соответственно 20 и 50 мин. Окончив подготовку, приступают к окраске крупной партии конденсаторов.

Керамические конденсаторы герметизируют также методами "окукливания" и заливки в специальную форму. При "окукливании" секции окунают в полужидкий компаунд, а затем сушат при температуре его полимеризации.

§ 49. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ТРУБЧАТЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Производство трубчатых конденсаторов состоит из небольшого количества операций (рис. 90): подготовки керамических материалов; оформления заготовок, их сушки и обжига, резки, промывки и еще одной сушки; оформления емкостного элемента, металлизации обкладок, вжигания и рассортировки емкостного элемента на группы по допускам; сборки.

Подготовка керамических материалов состоит в подборе определенного состава компонентов, их тщательной очистке, дроблении и просеивании. Приготовленные компоненты смешивают в шаровых мельницах, добавляя воду. Полученный шликер обезвоживают на фильтр-прессах. Осушенная керамическая масса является исходным сырьем для процесса оформления заготовок.

Процесс оформления заготовок начинается с дополнительной обработки массы, снятой с фильтр-прессов и загружаемой в приемную воронку вакуум-мялки (рис. 91), где ее уплотняют под вакуумом для удаления воздушных включений при давлении $2{,}6 \cdot 10^4$ Па. Приготовленную массу со специальными добавками, увеличивающими ее пластичность, подают на специальный пресс для вытяжки трубок (рис. 92). Вытянутые трубки подсушивают, разрезают на заготовки и передают на обжиг в туннельные электрические печи, а затем на сортировку по диаметру и внешнему виду. После этого трубки тщательно промывают, сушат и передают на оформление емкостного элемента (металлизацию).

Металлизация состоит в нанесении пасты азотнокислого серебра на внутреннюю и внешнюю поверхности цилиндрических керамических трубок, сушке пасты и вжигании ее с образованием металлического серебра в качестве электродов. Полученные секции (рис. 93) раскалибровывают на группы по отклонению емкости от номинальной.

Внутренний слой *3* металлизации наносят кисточкой на расстоянии *а* от одного конца керамической заготовки *2* до другого, затем на торец и на часть внешней поверхности для создания контактной площадки *1*, к которой впоследствии припаивается вывод. Длина закраины контактной площадки *1* постоянна для определенного размера заготовки. Внешний металлизированный слой *4* также наносят кисточкой, но длина его переменная, так как именно ею определяется размер перекрытия *в*, а следовательно, емкость конденсатора. Диэлектрическая проницаемость керамики и ее геометрические размеры (толщина и диаметр) после обжига имеют отклонения от заданных. Если внешний и внутренний электроды будут иметь постоянную

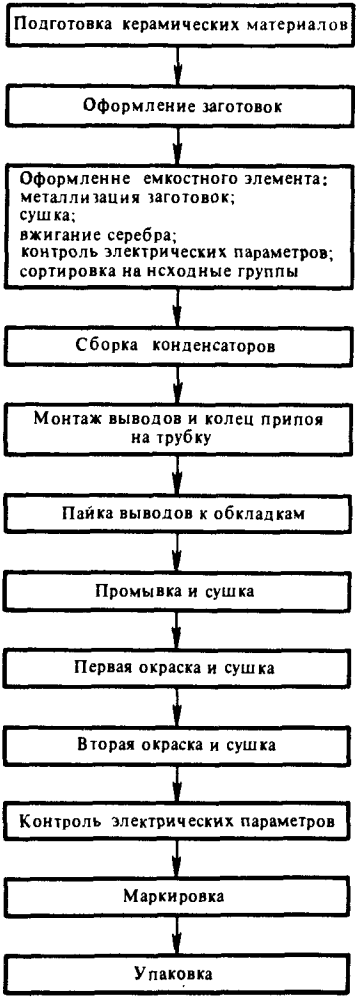


Рис. 90. Схема технологического процесса изготовления керамических трубчатых конденсаторов

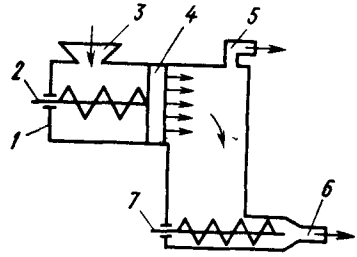


Рис. 91. Вакуум-мялка: *1* – корпус, *2* – шнек, *3* – приемная воронка, *4* – решетка, *5* – вакуумная система, *6* – выход готовой массы, *7* – шнек подпрессовки массы

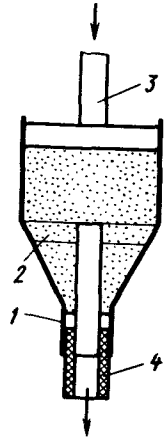
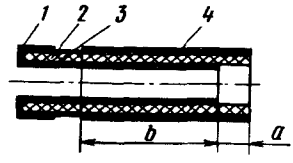


Рис. 92. Пресс для вытяжки трубок: *1* – мундштук, *2* – масса, *3* – поршень, *4* – керамическая трубка

Рис. 93. Секция керамического трубчатого конденсатора: *1* – контактная площадка внутреннего слоя, *2* – керамическая заготовка, *3, 4* – внутренний и внешний металлизированные слои (электроды)



длину, емкость заготовок будет значительно отличаться от номинальной. Размером *в* перекрытия электродов, т.е. длиной внешнего электрода, это отклонение емкости можно компенсировать.

В автоматической линии размер внешнего электрода рассчитывается АСУ с выдачей управляющего сигнала исполнительному механизму. При работе линии постоянно ведется счет заготовок с отклонением емкости от номинальной. Если в течение некоторого времени заготовки стабильно идут с отклонением емкости в большую сторону, АСУ выдает управляющий сигнал исполнительному механизму, осуществляющему движение металлизирующей кисточки, для ограничения его. В результате размер электрода, а следовательно, и емкость уменьшаются. И, наоборот, если заготовки идут с отклонением емкости в меньшую сторону, подается сигнал, по которому увеличивается перемещение кисточки, а следовательно, размер электрода, т.е. емкость заготовок.

Металлизируют заготовки на автоматизированной линии ЛАМ (рис. 94), рассчитанной для определенного размера заготовок конденсаторов (КТ-1, КТ-2). Вибробункер *5* подает заготовки через лоток *4* в рабочий орган механизма металлизации *3*, где на их внутреннюю и наружную поверхности наносится слой металлсодержащей пасты. Механизм нанесения металлизации состоит из:

вертикального ротора с пазами по краям, в которых расположены пружинные зажимы (в пазы поступают керамические заготовки, зажимаются и удерживаются в исходном для металлизации положении, а затем сбрасываются);

транспортирующего устройства, осуществляющего движение ротора;

устройства подачи заготовок из лотка в зажимы ротора на позицию нанесения слоя металлизации (это же устройство перемешивает и подает металлсодержащую пасту к кисточкам, а также вращает заготовки в зажимных центрах в момент нанесения слоя);

устройства нанесения слоя металлизации на внутреннюю и внешнюю поверхности заготовки, состоящего из исполнительного механизма, рабочим инструментом которого являются кисточки (ершики).

Исполнительное устройство изменяет положение кисточки с помощью двигателя постоянного тока, работающего в реверсивном режиме. При работе в режиме автоматического управления этот электродвигатель включается только по командам, поступающим с измерительного блока анализатора.

Все части механизма металлизации работают от одного привода, вращающего заготовки и подающего к ним с торцов две кисточки с серебряной пастой. При продольном перемещении кисточки покрывают пастой внешнюю и внутреннюю поверхности заготовки. Механизм металлизации имеет насосы, которые обеспечивают надежную подачу и циркуляцию пасты. После нанесения пасты заготовки при движении ротора вокруг оси проходят через печь сушилки *2*, которая представляет собой полукольцевой канал с прорезью во внутренней части для захода в него ротора с заготовками, покрытыми пастой.

Нагретый до 120°С воздух через вентиляционный патрубок, соединенный с нагревателем, подается в канал печи сушки. Для регулирования подачи воздуха под кожухом в патрубке имеется заслонка. В нагреватель

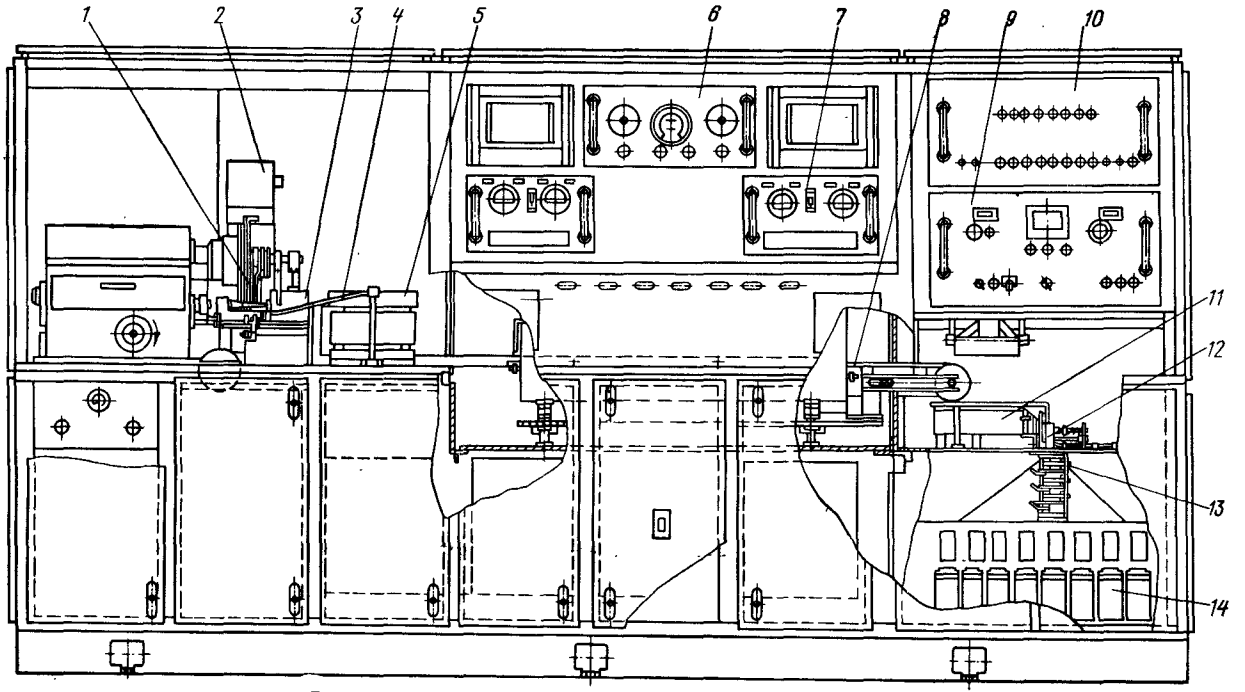


Рис. 94. Автоматическая линия металлизации заготовок:
1, 3 – механизмы нанесения металлизации, *2* – печь сушки, *4* – лоток, *5* – вибробункер, *6* – анализатор, *7* – блок управления нагревателями, *8* – печь вжигания металлизации, *9* – блок измерения емкости, *10* – исполнительный блок, *11* – бункер, *12* – контактное устройство, *13* – исполнительный элемеит, *14* – ящик для сбора заготовок

(электрокалорифер) от центральной сети поступает сжатый воздух.

После сушки заготовки подаются в туннельную печь вжигания *8*, в которой движется конвейер, перемещающий металлизированные заготовки конденсаторов через канал теплового излучателя печи за 6,1; 5,3 и 4,5 мин в зависимости от их размеров. Конвейерная лента изготовлена из никеля и сращена нихромовой проволокой. В печи автоматически специальным блоком *7* управления нагревателем поддерживается температура 80 ±10°С. Покрытые слоем металлизации заготовки высыпаются в бункер *11*, а из него по одной поступают в зажимы контактного устройства *12* блока измерения емкости, который выдает сигнал на рассортировку по допусковым группам.

Блок *12* работает по мостовой схеме. Сначала в измерительный контур включается эталонный конденсатор $C_{ном}$, емкость которого равна номинальной емкости измеряемых конденсаторов. Конденсатором "Подстройка" в плече моста устанавливаются равные напряжения. Затем вместо $C_{ном}$ включается измеряемый конденсатор C_x и, если его емкость не равна номинальной, на выходе усилителя постоянного тока появляется напряжение, которое подается в исполнительный блок *10*.

Исполнительный блок предназначен для рассортировки конденсаторов на семь допусковых групп со следующими границами отклонений от номинала: первая меньше –20%; вторая – от –20 до –10%; третья – от –10 до –5%; четвертая – от –5 до +5%; пятая – от 25 до +10%; шестая – от +10 до +20%; седьмая – от +20% и выше. Этот блок состоит из восьми исполнительных элементов *13*, каждый из которых имеет свой рабочий механизм распределения, соответствующий определенной допусковой группе. Все исполнительные элементы используют общий электромагнит, с помощью которого их рабочие механизмы сбрасывают заготовки в соответствующий ящик *14*. Так, если большинство заготовок попадает в шестую допусковую группу, электромагнит выдает сигнал анализатору, который, в свою очередь, выдает сигнал исполнительному устройству для уменьшения движения кисточки (т.е. уменьшение размера внешнего электрода). Если заготовки попадают во вторую допусковую группу, электромагнит выдает сигнал для увеличения движения кисточки. Каждой допусковой группе соответствует своя ячейка в ящике *14*.

Сборку конденсаторов выполняют на автоматической линии ЛАС (рис. 95) двух исполнений: для конденсаторов КТ-1 и КТ-2.

Посеребренные керамические заготовки конденсаторов загружаются в вибробункер автомата пайки *1*, откуда автоматически перегружаются в механизм ориентации *2* и далее – в гнезда цепи *4*. Перед началом движения цепи к ней прижимается щуп, состоящий из четырех подпружиненных игл, соединенных проводами с электрической схемой. Иглы расположены вдоль образующей цилиндрической заготовки так, что широкий (наружный) электрод замыкает одну из крайних пар: другая пара в это время разомкнута. На иглы подается напряжение, в результате чего срабатывает правый или левый электромагнит поворота, который поворачивает механизм ориентации так, чтобы заготовки выходили наружным электродом вправо (по движению цепи). Пневматические демпферы смягчают удары электромагнитов поворота и работа механизма происходит плавно.

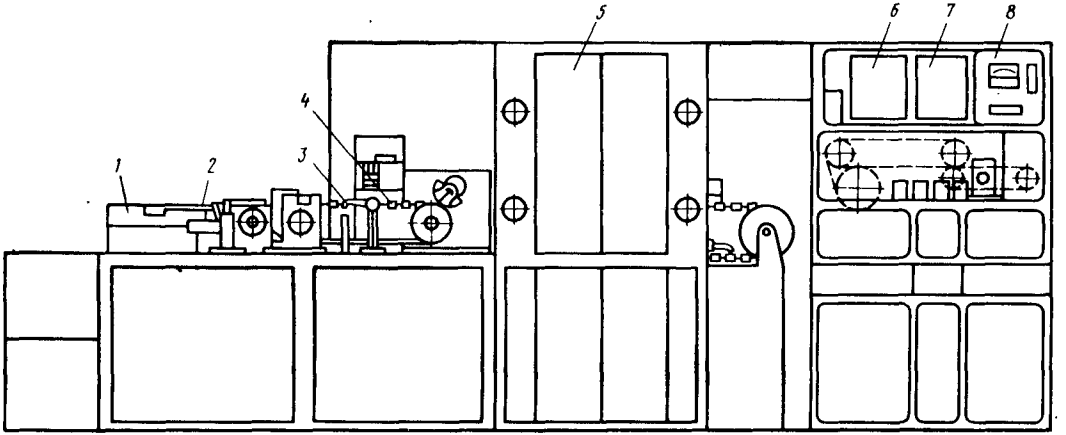


Рис. 95. Автоматическая линия ЛАС сборки конденсаторов КТ-1 и КТ-2:
1 – бункер, *2* – механизм ориентации, *3* – механизм флюсования и пайки, *4* – цепь, *5* – агрегат эмалирования, *6, 7, 8* – блоки измерения емкости, тангенса угла диэлектрических потерь и подачи напряжения

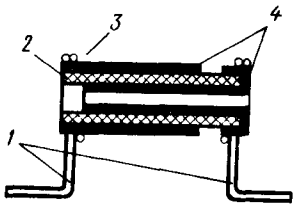


Рис. 96. Трубчатый керамический конденсатор:
1 – выводы, *2* – керамическая трубка (секция), *3* – кольцо припоя, *4* – металлические слои (электроды)

С двух сторон цепи расположены механизмы сборки, предназначенные для изготовления проволочных выводов *1* (рис. 96), колец припоя *3* из проволоки и напрессовки их на керамическую трубку (секцию) *2*. Подачу проволоки (припоя и вывода) осуществляют вращающиеся ролики и кулачки. Длина отрезков проволоки регулируется профилем кулачков. Обе проволоки проходят в зазор между плунжером и ножом. Плунжер предварительно формует две проволоки, а нож, двигаясь назад, отрезает их. Затем плунжер отходит назад и отрезанные проволоки попадают под оправку. При движении вперед плунжер своим торцом через фигурное цилиндрическое отверстие в ноже проталкивает отрезанную проволоку. Одновременно специальный механизм загибают вывод и припой.

Дальше нож и плунжер движутся вместе вперед, но в конце хода плунжер опережает нож и выталкивает из его отверстия кольцо припоя и вывод, который поворачивается на оправке. Кольцо припоя остается неподвижным. Так осуществляется взаимное смещение стыков колец припоя и вывода.

Керамическая заготовка, находящаяся в гнезде цепи, передается на позицию сборки и пайки, где она устанавливается и фиксируется на оси, а плунжер, толкая вывод и кольцо припоя вдоль оси оправки, напрессовывает их на ее торцы. Затем на автомате пайки заготовку флюсуют, для чего на место пайки выводов *3* через трубку и кисточку подается по одной капле флюса.

При дальнейшем движении цепи конденсатор попадает в зону пайки. Вначале конденсатор подогревается шинами, расположенными вдоль его торцов, и верхним паяльником, а затем левым паяльником припаивается левый вывод и правым – правый. Окончательная пайка производится горячим воздухом, подаваемым через трубку электрокалорифера. После затвердения припоя конденсатор поступает в механизм перекладки, состоящий из двух зубчатых дисков и двух неподвижных направляющих.

Выводы движущегося конденсатора скользят по направляющим, поднимаясь кверху. Конденсатор поворачивается в гнезде цепи автомата пайки, затем движущиеся диски своими зубьями подхватывают выводы и вынимают конденсатор из гнезда цепи. Дальше подталкиваемый зубьями дисков конденсатор своими выводами скользит по горизонтальным направляющим и вкладывается в раскрытые звенья вертикальной транспортирующей цепи. При выходе цепи на прямолинейный участок звенья не замыкаются и конденсаторы в висячем положении транспортируются к агрегатам на очистку.

Агрегат очистки состоит из ультразвуковой ванны, душа, продувочного сопла и бака горячего раствора. Конденсаторы, находящиеся в транспортирующей цепи, погружаются в ультразвуковую ванну, заполненную горячим моющим раствором ОП-7, где происходит интенсивное отмывание их от остатков флюса. Затем цепь с конденсаторами проходит через душ, где чистой горячей водой удаляются остатки моющего раствора ОП-7, под струей сжатого воздуха, выходящей из сопла. В результате из внутренней полости конденсатора удаляются остатки воды.

После мойки конденсаторы сушатся в сушильном устройстве, состоящем из калорифера и воздухораспределителя и подаются на агрегат змали-

рования 5. Процесс змалирования выполняется два раза. Двигаясь вместе с цепью, конденсаторы окунаются в расположенную на плите ванну с змалью и покрываются ею. Для поддержания постоянного уровня змали специальный насос непрерывно подает ее из бачка в ванну. По выходе из ванны капля змали, образующаяся снизу конденсатора, удаляется специальной пластинкой (каплесъемником). Затем конденсаторы проходят между правым и левым соплами, отсасывающими излишки змали снаружи и изнутри конденсатора в бачок с отходами. Нанесенный первый слой змали подсушивается и на него наносится второй слой, который сушится окончательно.

Цепь с висящими на выводах конденсаторами движется в сушильном устройстве сначала вертикально вверх, затем обходит ролики и опускается вниз и так несколько раз. Внутри сушильного устройства на боковых стенках размещены электронагреватели терморадиационной сушки змалевого покрытия и создано интенсивное движение воздуха сверху вниз по всей длине цепи.

После сушки конденсаторы попадают на механизм кодирования, который состоит из ванночки с кодировочной краской, двух роликов и направляющих. Свободно висящие конденсаторы вместе с транспортирующей цепью двигаются по неподвижным направляющим. Ролик, вращаемый электродвигателем, смачивается кодировочной краской, касается одного конца конденсаторов и оставляет на них кодировочный знак (отметку внешнего электрода).

Далее конденсаторы поступают на автомат сортировки по электропараметрам и маркировки, который состоит из механизмов привода, перекладки, маркировки и транспортирующей цепи, перегружаются в гнезда цепи автомата сортировки, где испытываются высоким напряжением *10* с. Для этого их выводы прижимаются цепью к специальным контактам диска, на которые подается напряжение, плавно увеличивающееся от 0 до 1500 В.

Пройдя диск, конденсаторы последовательно попадают на направляющие механизмов сортировки и контроля электрической прочности. Если в секциях произошло короткое замыкание, направляющие отодвигаются электромагнитом и конденсаторы сбрасываются в тару. При дальнейшем движении годные конденсаторы сначала попадают на контакты разряда, а затем — на контакты измерения емкости. Конденсаторы, емкость которых больше или меньше установленной, выбрасываются в тару, а емкость которых лежит в пределах допуска, фиксируются счетчиком БМС-62.

Далее конденсаторы, находясь в гнездах рычагов цепи, подаются в зону маркировки, где прижимаются к маркировочной подушке, которая снимает отпечаток с клише и переносит его на конденсаторы. Маркированные конденсаторы сбрасываются с цепи в тару. Если механизм маркировки неисправен, предусмотрен сброс немаркированных конденсаторов в другую тару.

Чтобы повысить надежность линии, ее оснащают накопителями на 800—1000 конденсаторов, выполненными в виде непрерывно вращающегося кольца, внутри которого размещен диск. При работе линии заготовки по наружному кольцу перемещаются от одной машины к другой. При отказе одной из машин идет накопление заготовок на диске либо выдача их с диска на наружное кольцо накопителя и далее — в работающую машину.

Для контроля работы оборудования линия оснащена диспетчерско-информационной системой со световым табло, пультом диспетчера и печатающим устройством. Общее количество выпущенной продукции отражается на световом табло, а остальная информация периодически выводится на печать. Диспетчеру также представляется информация о состоянии оборудования, наличии деталей и др.

§ 50. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МОНОЛИТНЫХ И СЕКЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Сборка монолитных керамических конденсаторов (рис. 97) начинается с литья пленки из шликера, состоящего из керамического материала, смешанного с ацетоном, бензином и каучуком. Литье производят на установке УБ.593 (рис. 98).

Шликер, заливаемый в дозатор *4* через фильеру, разливается тонким слоем на непрерывно движущуюся ленту-носитель *2*, выполненную из полиэтиленовой пленки (или специальной стали). Для обеспечения одной толщины отливаемой пленки в фильере периодическим доливанием шликера поддерживается постоянный его уровень. Толщина отливаемой пленки 70–170 мкм, отклонение по толщине не более 10 мкм.

Лента-носитель с пленкой, двигаясь, проходит через печь сушки *5*, бензин и ацетон улетучиваются и образуется эластичная керамическая пленка *6*. Сухую пленку отделяют от подложки, контролируют ее качество, при котором определяют дефектные участки, маркируют и режут на отрезки длиной 25–40 см, складывая в стопки с разделением каждого отрезка писчей бумагой. Затем пленку вальцуют, пропуская между двумя цилиндрическими валками для повышения плотности и обеспечения необходимой толщины.

Заготовки керамической пленки металлизуют и собирают в пакеты (рис. 99) на полуавтоматической линии 161000. Этот процесс состоит из следующих операций: вырубки пленки на полосы (в размер), металлизации платино-палладиевыми и серебряно-палладиевыми пастами методом шелкографии, сборки полос в пакеты, холодного прессования и сушки металлизированного слоя. Пакеты собираются из нечетного числа пленок – 3, 5, 7, 9 в зависимости от емкости конденсатора.

В процессе сборки пакетов прибором РСИ фиксируют соответствие числа пластин заданному. Уровень пасты должен быть стабильным, что достигается периодическим доливанием ее в ванну.

Рабочая вязкость паст 13–35 с обеспечивает получение электрода необходимой толщины 12–28 мкм. Прессование пакетов-полос производят при давлении в интервале 199,9–666,5 Па.

Полуавтоматическая линия 16100 (рис. 100) работает следующим образом. Заготовку пленки (длиной 30–40 см) вручную подают на механизм *2* вырубки и пуансоном вырубают и укладывают в гнездо транспортирующего диска *5*. Далее пленка-заготовка поступает в зону металлизации верхней стороны, где вакуумный присос захватывает ее, прижимая снизу к шелкотрафарету, и передает из диска на механизм металлизации. В это время ракель, вращаясь, наносит слой пасты на верхнюю сторону пленки по рисунку шелкотрафарета, после чего присос возвращает металлизированную

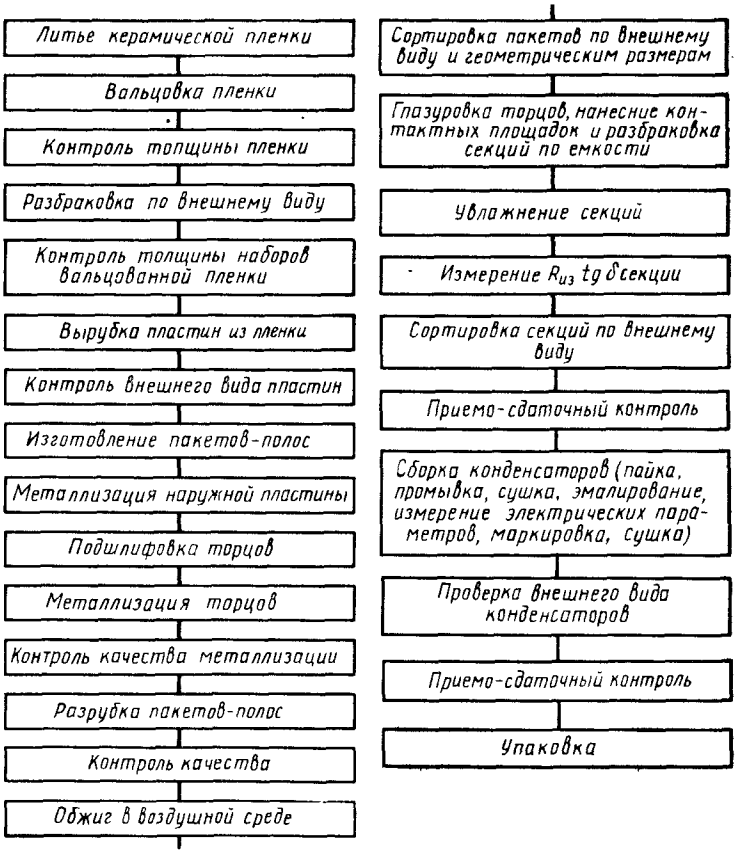


Рис. 97. Схема технологического производства монолитных конденсаторов

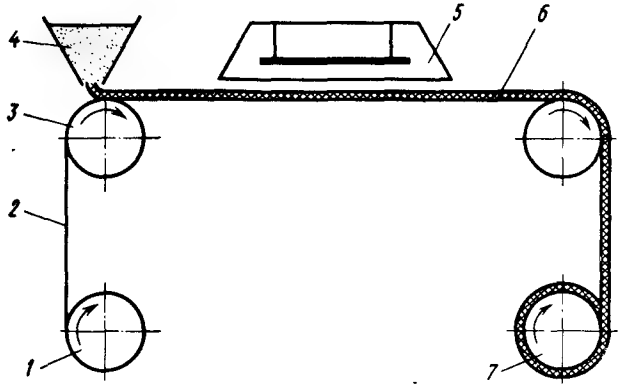


Рис. 98. Установка УБ-593 литья керамической пленки:
1 – рулон с лентой-носителем, *2* – лента-носитель, *3*, *7* – барабаны, *4* – дозатор шликера, *5* – печь сушки, *6* – керамическая пленка

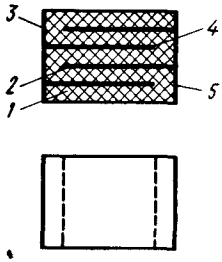


Рис. 99. Пакет монолитного керамического конденсатора: *1* – керамическая пленка, *2, 4* – обкладки, *3, 5* – контактные слои серебра

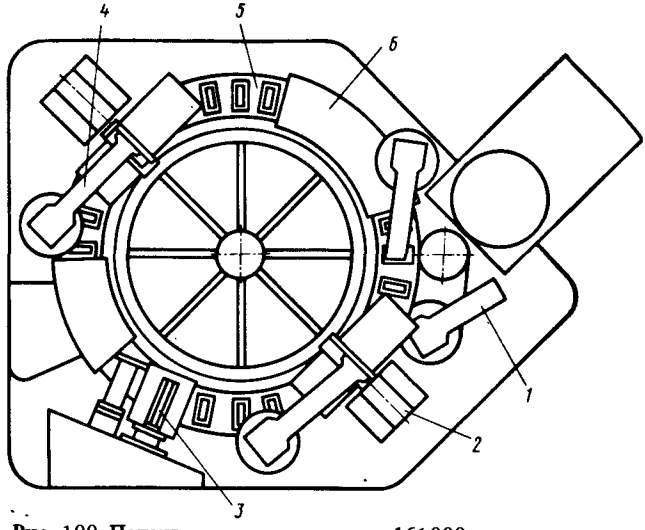


Рис. 100. Полуавтоматическая линия 161000 изготовления пакетов:
1 – механизм перекладки пленки и съема конденсаторов, *2, 4* – механизмы вырубки заготовки, *3* – механизм металлизации верхней стороны пленки, *5* – ротор, *6* – печь сушки

полосу-заготовку в гнездо на резиновые держатели. После этого отключается вакуум и присос отпускает пленку. Далее, находясь в гнезде вращающегося диска, пакет поступает в печь сушки горячим воздухом *6*. Сухие заготовки пуансоном снимаются и укладываются одна на другую в гнездо малого транспортирующего диска. Счет числа полос производит фотодатчик, передающий свои импульсы на реле, которое дает команду на поворот малого диска на одну позицию.

Гнездо с полосами поступает в зону прессовки, где верхний и нижний пуансоны гидропресса прессуют заготовки и разрезают их на пакеты. При дальнейшем повороте большого ротора гнездо встает над пуансоном, который сбрасывает пакеты в специальную тару.

Далее пакеты поступают на обжиг, где происходит спекание диэлектрика и электрода в монолитный пакет.

Обжиг осуществляется в туннельных электрических печах в воздушной среде при 1050 до 1360°С с выдержкой 1,5–8 ч в зависимости от вида керамических материалов.

Обожженные пакеты поступают на последующие технологические операции: нанесение серебросодержащей пасты на контактирующие поверхности пакетов конденсаторов и суспензии глазури на торцы пакетов, совместное вжигание серебра и оплавление глазури, рассортировку по емкости.

На контактирующие поверхности наносят в виде "язычка" пасту, вязкость которой 5–7 с. Для защиты торцов пакетов конденсаторов используют легкоплавкие глазури вязкостью не менее 4 с по воронке ∅ 2,5 мм. Вжигание серебра и оплавление глазури происходит одновременно в печи при (550÷780) ±10°С.

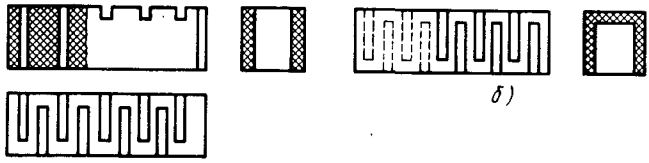


Рис. 101. Заготовки секционных конденсаторов с прорезями: *а* – КЛС со сквозными, *б* – КЛГ с глухими

Цикл вжигания серебра и оплавления глазури 1,33–5 мин в зависимости от размеров пакета конденсаторов. Толщина глазурованного покрытия должна быть не менее 0,05 мм. После этих операций пакет называется секцией.

Рассортировку по емкости ведут на измерительном механизме полуавтоматической линии ЛАМ.

Далее секции поступают на линию ЛАС-35 для сборки. Сначала выводы секции паяют припоем ПСр-1 с применением флюса, промывают их в трихлорэтилене в течение 3–4 мин и сушат при 60–85°С. Далее наносят первый слой влагозащитного покрытия эмалью ЭП-91 вязкостью 50–100 с по вискозиметру ВЗ-4; (методом окунания) и сушат эмалевое покрытие при 120–160°С в течение 15–16 мин. После этого наносят второй слой влагозащитного покрытия эмалью ЭП-91, сушат его при 60–85°С в течение 75 мин и наносят маркировку, которую сушат при 60–85°С. Сборка заканчивается проверкой электрических параметров (электрической прочности, сопротивления изоляции, $\mathrm{tg}\,\delta$ и емкости).

При сборке секционных керамических конденсаторов КЛС и КЛГ используются технологические приемы получения заготовок и сборки, отличающиеся от ранее описанных. Рассмотрим основные этапы изготовления конденсаторов КЛС и КЛГ.

Приготовление керамической массы (*шликера*) состоит в том, что предварительно обожженную керамику размалывают в мельницах, а затем смешивают с легкоплавким пластификатором. Обычно пластификатором является смесь парафина со стеарином. Количество пластификатора, идущего на приготовление шликера, колеблется от 20 до 30% от его общего объема. Керамику и пластификатор тщательно перемешивают и разливают в формы. После охлаждения шликер вынимают из форм и передают на литьевые машины для изготовления заготовок конденсаторов методом горячего литья (рис. 101,*а, б*).

Отлитые заготовки удаляют из форм и передают на обжиг. Эту операцию выполняют в два этапа. Вначале удаляют пластификатор при температуре разогрева заготовок от 180–200°С, а затем выполняют спекание или обжиг в специальных печах при 1200–1400°С.

После обжига в пазы и на торцы заготовок наносят слой серебряной пасты, которую вжигают. При вжигании серебряная паста восстанавливается до металлического серебра, которое прочно сцепляется с керамикой. Затем шлифуют и припаивают проволочные выводы, после чего на места пайки (в КЛГ) или на всю секцию (в КЛС) наносят влагозащитный слой,

который полимеризуется в термошкафах. Далее конденсаторы поступают на контроль электрических параметров, маркировку, сушку и упаковку

§ 51. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ПОДСТРОЕЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Изготовление подстроечных конденсаторов рассмотрим на примере керамических конденсаторов КПК.

Процесс начинается с подготовки исходных материалов, входящих в состав керамики, из которой затем изготовляют основные детали конденсаторов — ротор и статор. Материалы, входящие в состав керамики, перемалывают, очищают от примесей, тщательно перемешивают в соответствующих пропорциях и добавляют в них связку. Полученную смесь пропускают через специальные сита и передают на операцию изготовления роторов и статоров.

Изготовление роторов и статоров — сложный процесс, состоящий из ряда технологических операций.

Заготовки роторов и статоров требуемой формы получают сухим прессованием на специальных автоматических прессах. Порошок засыпают в матрицу и с двух сторон опрессовывают пуансонами, при этом его зерна соединяются между собой связкой.

Затем с поверхностей опрессованных заготовок удаляют приставные частицы порошка и передают их на обжиг. Заготовки роторов обжигают один раз, а статоров — два. После первого (предварительного) обжига заготовки статоров зачищают, сортируют по внешнему виду и передают на окончательный обжиг для удаления остатков связки. Окончательный обжиг проводят в несколько этапов, которые характеризуются различными температурными режимами и временем выдержки. Заготовки роторов после обжига также поступают на зачистку и сортировку.

Сортировку по внешнему виду выполняют, чтобы выявить заготовки, имеющие дефекты (сколы, трещины, посторонние включения, отклонения от необходимой геометрической формы). После этого рабочие поверхности годных заготовок шлифуют на специальных шлифовальных станках, а затем заготовки тщательно промывают, сушат, прокаливают, вновь сортируют и передают на сборку конденсаторов.

Одновременно с роторами и статорами в специализированных цехах изготовляют металлические детали конденсаторов (оси, выводы, шайбы, прокладки и пружины). Эти детали получают холодной штамповкой или высадкой, после чего они проходят гальваническую и другие виды обработки. Далее детали собирают.

При сборке ротора на полуавтомате серебрят часть его внешней поверхности, называемую сектором. Серебряную пасту наносят пульверизатором и вжигают. Затем серебряную пасту наносят на внутреннюю поверхность отверстия ротора и также вжигают ее.

После визуальной проверки качества серебряного покрытия в отверстие ротора запрессовывают ось, головку которой соединяют пайкой с серебряным слоем ротора. Собранный ротор промывают и сушат. Статор, так же как и ротор, металлизируют, зачищают внутреннюю поверхность

отверстия и снимают заусенцы с поверхности соприкосновения оси ротора со статором, что позволяет снизить потери емкости конденсатора и обеспечить плавность вращения ротора.

При сборке конденсатора ось ротора вставляют в отверстие статора, а затем монтируют и фиксируют контактные и пружинные элементы конденсатора. В собранных конденсаторах проверяют момент вращения ротора и, если необходимо, выполняют соответствующие регулировки. После этого контролируют электрические параметры конденсаторов. Прошедшие контроль конденсаторы маркируют и, подсушив маркировку, передают на упаковку.

§ 52. СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ, СТЕКЛОЭМАЛЕВЫЕ И СТЕКЛОПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

В настоящее время выпускают стеклокерамические конденсаторы и конденсаторы со стеклянным диэлектриком (стеклоэмалевые и стеклопленочные).

Стекло по сравнению с керамикой имеет более низкую температуру спекания, что позволяет для обкладок использовать менее дефицитные и дорогостоящие, чем платина и палладий, металлы (серебро, алюминий), и приводит к снижению себестоимости.

Секции стеклокерамических конденсаторов состоят из нескольких слоев диэлектрика и обкладок из серебряной или алюминиевой фольги, секции стеклоэмалевых конденсаторов – из нескольких слоев диэлектрика и нанесенных на них серебряных обкладок, секции стеклопленочных конденсаторов – из нескольких пластин стеклянной пленки (0,015–0,025 мм) и обкладок алюминиевой фольги.

Стеклоэмалевые конденсаторы КС (рис. 102,*а*) предназначенные для работы в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах, выпускаются четырех типоразмеров: КС-1, КС-2, КС-3, КС-4 и по ТКЕ разделяются на четыре группы: Р, О, М, П. Допустимые отклонения емкости конденсаторов КС-1, КС-2 и КС-3 составляют ±2%, ±5%, ±10%, ±20%, а КС-4 ±2% и ±5%.

Конденсаторы К21У-1 и К21У-3 (рис. 102,*б*) предназначены для работы в условиях повышенной температуры: К21У-1 выпускают с диэлектриком одной группы по ТКЕ (П120), а К21У-3 – двух групп (П33 и МПО). Конденсаторы К21У-5 предназначены для работы в цепях постоянного, переменного тока, а также в импульсных режимах и имеют четыре группы по ТКЕ.

Характеристики стеклоэмалевых конденсаторов приведены в табл. 7.

Таблица 7. Характеристики стеклоэмалевых конденсаторов

Тип конденсатора	Интервал рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, пФ
КС-1	От –60 до +155	500	20–300
КС-2	От –60 до +155	500	200–750
КС-3		500	1000

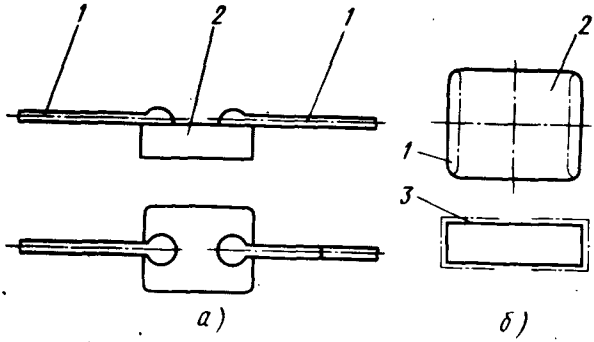


Рис. 102. Стеклоэмалевые конденсаторы:
а – с разнонаправленными проволочными выводами, *б* – таблеточный для микросхем; *1* – внешний вывод, *2* – секция, *3* – контактный слой

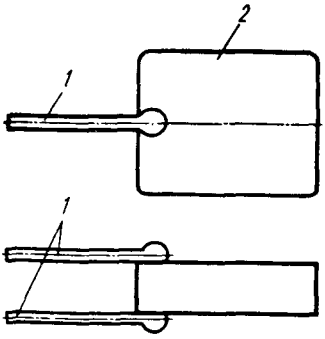


Рис. 103. Стеклокерамический конденсатор СКМа с однонаправленными выводами: *1* – внешние выводы, *2* – секция

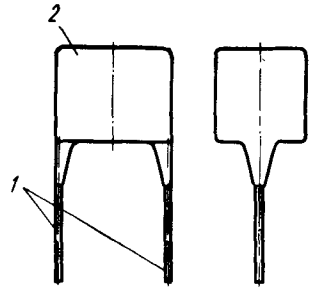


Рис. 104. Стеклокерамический изолированный конденсатор К22У-1б с однонаправленными проволочными выводами:
1 – внешние выводы, *2* – секция

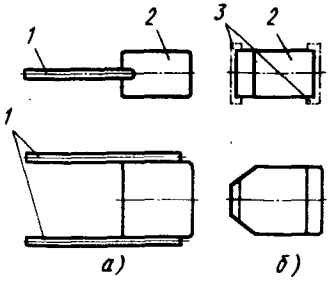


Рис. 105. Стеклопленочные конденсаторы К21-5:
а – с однонаправленными проволочными выводами, *б* – таблеточный; *1* – внешние выводы, *2* – секция, *3* – контактный слой

Продолжение табл. 7

Тип конденсатора	Интервал рабочих температур, °С	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, пФ
КС-4		500	510–1000
К21У-1	От –60 до +300	250	9,1–510
К21У-3	От –60 до +200	250	9,1–5600
К21У-5	От –60 до +100	70, 160	2,2–330

Стеклокерамические конденсаторы имеют более широкую номенклатуру (СКМ, К22У-1, К22У-2, К22У-3 и К22-5), чем стеклоэлемента.

Для работы в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах в интервале температур от –60 до +155°С выпускают конденсаторы СКМа с однонаправленными проволочными выводами (рис. 103) и СКМб таблеточные.

Для работы в цепях постоянного, переменного тока, а также в импульсных режимах, в качестве контурных, разделительных, сеточных и блокировочных выпускают конденсаторы К22У-1 трех конструктивных исполнений: К22У-1а – таблеточные, К22У-1б – изолированные с однонаправленными проволочными выводами (рис. 104) и К22У-1в – неизолированные с разнонаправленными выводами. В зависимости от состава диэлектрика конденсаторы делятся на четыре группы по ТКЕ: МПО, М47, М330, Н30.

Конденсаторы К22У-2 предназначены для схем печатного монтажа (К22У-2а) и микромодулей (К22У-2в) и делятся на четыре группы по ТКЕ: МПО, М330, М47, М700.

Конденсаторы К22У-3 предназначены для интегральных гибридных микросхем и, как конденсаторы К22У-2, делятся на четыре группы по ТКЕ: МПО, М47, М330, Н30.

Для работы в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах предназначены конденсаторы К22-5, имеющие три группы по ТКЕ и одну ненормированную.

Емкость стеклокерамических конденсаторов лежит в пределах 75 пФ – 0,047 мкФ. Допустимые отклонения емкости для групп с нормированным ТКЕ составляют ±5%, ±10% и ±20%, а для группы с ненормированным ТКЕ – ±10% и ±20%.

Стеклопленочные конденсаторы К21-5, К21-7 и К21-8 находят широкое применение в аппаратуре, заменяя более дорогостоящие слюдяные; их используют в резонансных контурах и других высокочастотных цепях. Они рассчитаны на работу в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах.

Конденсаторы К21-5 выпускают двух конструктивных исполнений: К21-5а – с однонаправленными проволочными выводами (рис. 105,*а*) на номинальные емкости 2,2–160 пФ, размеры не более 8,5×3×6 мм; К21-5б – таблеточные (рис. 105,*б*) на номинальные емкости 2,2 – 330 пФ. Номинальное напряжение 160 В. Интервал рабочих температур от –60 до +100°С.

Конденсаторы К21-7 выпускают на номинальные емкости 56 пФ – 0,01 мкФ и номинальное напряжение 50 В. Интервал рабочих температур от –60 до +155°С. Размеры конденсаторов в зависимости от номинальной емкости могут быть от 7,5×3×9,5 до 14,5×4,0×14,5 мм.

Конденсаторы К21-8 выпускают трех конструктивных исполнений: К21-8а и К21-8б – с разно- и однонаправленными проволочными выводами и К21-8в – безвыводные. Номинальное напряжение 250 В. В зависимости от состава диэлектрика конденсаторы делятся на семь групп по ТКЕ. Размеры конденсаторов в зависимости от емкости и варианта исполнения лежат соответственно в пределах: от 5×1,5×5,5 до 13×12,5×5,5 мм, от 6,5×6,5×5,5 до 15×15×5,5 мм и от 4×4×4 до 12×12×4 мм.

§ 53. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ СТЕКЛОЭМАЛЕВЫХ, СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ И СТЕКЛОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

В производстве конденсаторов с диэлектриком в виде стеклоэмали или стеклокерамики действуют две типовые технологические схемы, различие которых состоит в способе оформления диэлектрика.

Способ сухого прессования диэлектрика, разработанный в начале 40-х годов и заключающийся в прессовании тонкоизмельченного порошка, называют *порошковой технологией.* Способ, получивший развитие в 50-е годы и заключающийся в формировании диэлектрика литьем тонких пленок, называют *пленочной технологией.*

По порошковой технологии изготовляют конденсаторы КС, К21У-1, К21У-3, К21У-5 и СКМ, а по пленочной – К22У-1, К22У-2, К22У-3, К21-7, К21-8.

Схема технологического процесса изготовления конденсаторов по порошковой технологии показана на рис. 106,*а.* Процесс приготовления стеклоэмалевой массы для получения диэлектрика с заданными свойствами состоит из смешивания компонентов, введения связки, ее перемешивания, сушки, помола, просеивания. Смешивая компоненты, добиваются равномерного распределения порошка.

Связку вводят для придания таблетке необходимой механической прочности при прессовании. На каждый килограмм массы вносят 150 г этилцеллюлозного лака и тщательно перемешивают до получения тестообразной пасты. Затем массу сушат при 60–120°С и дробят на куски размером 50–70 мм, после чего размалывают в порошок и просеивают на вибросите через проволочную сетку (918 ячеек на 1 см^2). Просеянный порошок хранят в металлических плотно закрывающихся емкостях.

Процесс приготовления стеклокерамической массы состоит из смешивания компонентов, изготовления спеков, их помола и просеивания порошка, введения связок, сушки массы, ее дробления, помола, просеивания.

В зависимости от заданного состава компоненты тщательно перемешивают. Перемешанную массу предварительно спекают при 500÷600°С ±10°С, что позволяет получать влагостойкие стеклокерамические диэлектрики.

Температура спекания зависит от вида стеклоэмали. Предварительно спеченную массу (спек) после термообработки дробят, размалывают и просеивают через сито (3460 ячеек на 1 см^2).

В тонко размолотый спек вводят связку – этилцеллюлозный лак (из расчета 170–180 г на 1 кг спека). Затем порошок с лаком тщательно перемешивают до получения однородной тестообразной массы, которая проходит дальнейшую обработку, аналогичную обработке стеклоэмалевых масс.

Приготовление серебряной пасты состоит из получения мелкодисперсного серебра, подготовки органической связки смешивания части и является одной из наиболее ответственных операций, так как оказывает решающее влияние на емкость (ее разброс от заданного номинала) и другие параметры стеклокерамических и стеклоэмалевых конденсаторов. Готовую пасту можно хранить в герметичных сосудах не более 10 дней. После двухдневного хранения перед использованием пасту необходимо тщательно перемешивать в течение 4 ч. После каждого четырехчасового перемешивания следует проверять вязкость пасты.

Изготовление пакетов стеклоэмалевых и стеклокерамических конденсаторов представляет собой сложный сборочный процесс, в котором формируется заготовка конденсатора, состоящая из чередующихся слоев диэлектрика и серебра. Пакеты конденсаторов изготовляют холодным прессованием порошкового диэлектрика, засыпаемого в пресс-формы, и двукратным нанесением пульверизацией через специальные трафареты серебряной пасты. Процессы прессования и нанесения повторяют столько раз, сколько слоев должно быть в заготовке. Трафареты, через которые на таблетку наносят пасту, несколько отличаются друг от друга и обеспечивают получение обкладок, смещенных одна относительно другой на размер торцевой закраины. Высота засыпки порошка зависит от того, какой толщины должен быть диэлектрик в готовом конденсаторе. Обычно высоту засыпки принимают равной двум толщинам диэлектрика в готовом конденсаторе.

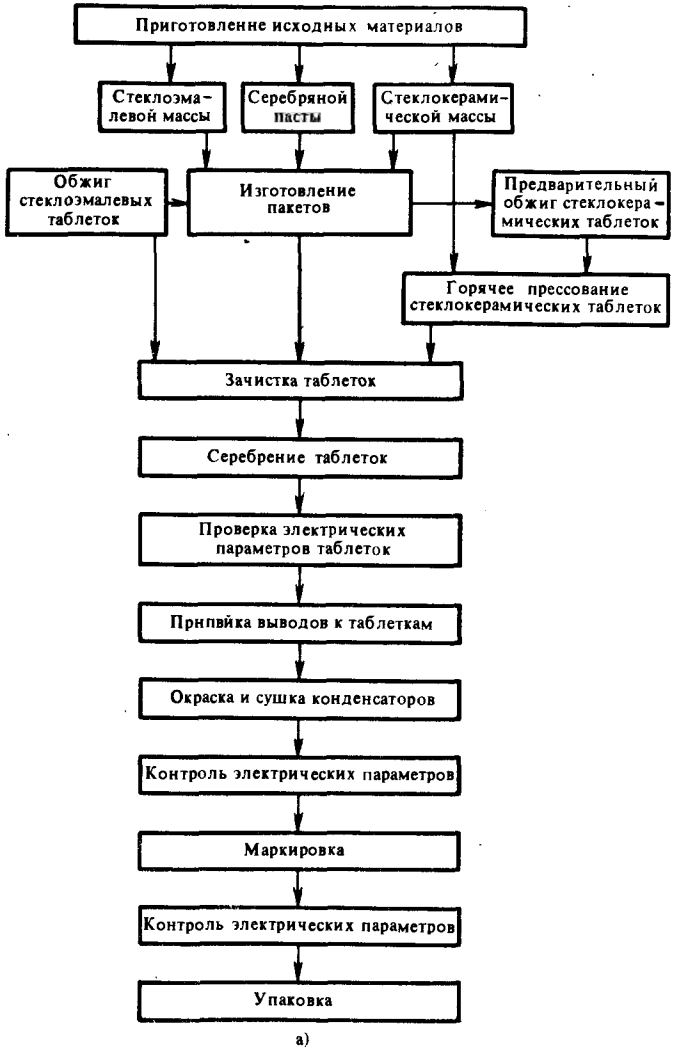
Максимальное число чередующихся слоев диэлектрика и серебра не превышает 14. Увеличение числа слоев приводит к резкому снижению электрической прочности.

Для получения секций монолитных влагостойких стеклоэмалевых конденсаторов с окончательно сформированным диэлектриком пакеты обжигают в специальных конвейерных трехзонных печах.

В первой зоне печи при постепенном подъеме температуры от 22 до 420°С ±10°С в зависимости от состава диэлектрика в течение не более 1 ч происходит медленное газовыделение и полное выгорание связки. Во второй зоне при быстром подъеме температуры от 400 до 720°С при выдержке в течение 9–12 мин происходит кристаллизация и остекловывание пакетов. Третья зона – зона быстрого спада температуры. При этом спеченные пакеты охлаждают до 200°С. Затем их вынимают из печи и передают на следующую операцию.

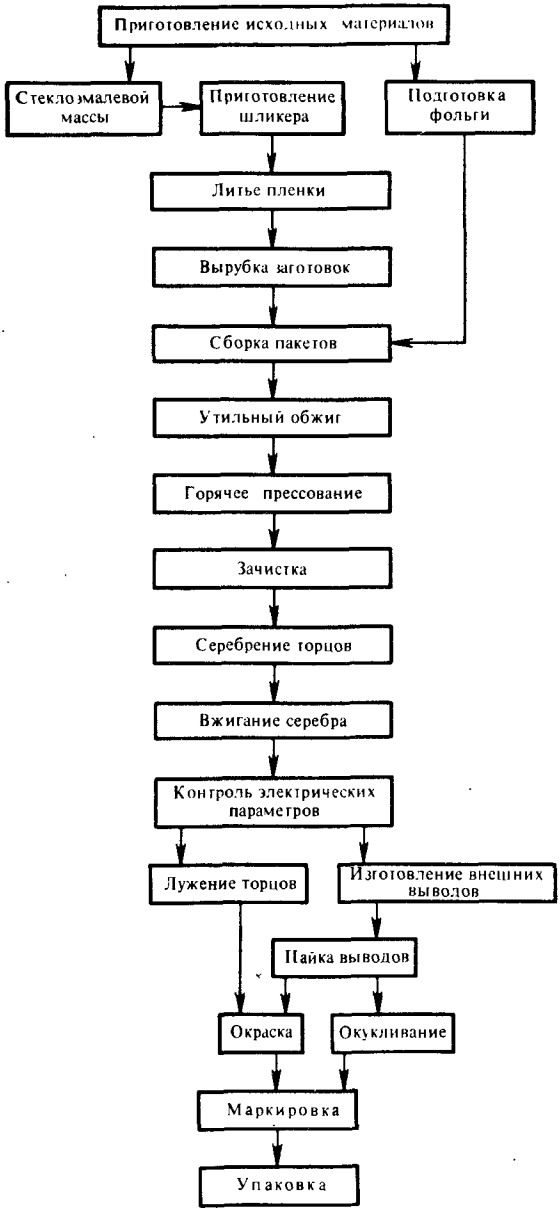
Обожженные пакеты должны иметь глянцевую поверхность без трещин, вздутий и закругленных углов. Матовая поверхность пакетов образуется вследствие заниженной температуры обжига; вздутия указывают на завышенную температуру в первой зоне печи, а резкое скругление углов – на завышенную температуру во второй зоне.

При предварительном обжиге стеклокерамических конденсаторов предназначенном для подготовки прессованного пакета к горячему прессованию,



а)

Рис. 106. Схемы технологических процессов изготовления стеклоэмалевых



б)

и стеклопленочных конденсаторов по порошковой (*а*) и пленочной (*б*) технологиям

происходит постепенное удаление органической связки и упрочнение пакетов. Пакеты обжигают в две стадии. Вначале температуру медленно в течение 45–50 мин поднимают до 490–500°С, а затем пакеты выдерживают при этой температуре в течение 9–12 мин.

После обжига пакеты закладывают в пресс-формы, засыпают порошком оксида алюминия, чтобы предохранить их от приваривания к стенкам пресс-формы и обеспечить сохранность конфигурации при равномерном уплотнении алюминиевого порошка по всему объему при прессовании. Загруженные пресс-формы помещают в печь и прогревают в течение 12–14 мин при 740 ±10°С или $820^{+20°С}_{-10°С}$, после чего передают на гидравлический пресс для горячего прессования при давлении $5 \cdot 10^4$ кН. Время выдержки под давлением 1 мин. Опрессованные пакеты поступают на зачистку торцов. Эту операцию выполняют для удаления с торцов пакетов тонкого слоя стеклоэмали или стеклокерамики после обжига и горячего прессования, а также остатков порошка оксида алюминия. Зачистку ведут до появления ясно видимых слоев серебра, но не более чем на 0,25 мм. Торцы пакетов стеклоэмалевых конденсаторов зачищают вручную с помощью шлифовального круга, а стеклокерамических – на специальном станке чугунными притирами с помощью абразивного порошка, смоченного водой. Затем пакеты промывают проточной водой, сушат при 120°С до полного высыхания и передают на операцию серебрения торцов.

Серебрение, обеспечивающее соединение обкладок, выходящих на каждый торец, и создание контактного слоя для последующей пайки проволочных выводов или на печатные платы, выполняют вжиганием. Для этого пакеты конденсаторов укладывают в струбцины по 20–30 шт., на их торцы или часть плоскости, прилегающей к торцу, наносят слой пасты, которую просушивают в течение 40–50 мин на воздухе. Затем пакеты укладывают на пластины из жаропрочного материала и передают на операцию вжигания первого слоя серебра, которую проводят при 460÷590°С ±10°С в течение 5–7 мин. Второй слой пасты, который наносят так же, вжигают при 460 или 540°С. Время подъема температуры 15–20 мин.

После вжигания первого слоя пасты контролируют пакеты по электрическим параметрам и на влагостойкость. Годные пакеты поступают на операции лужения торцов или пайки проволочных выводов. Лужение, выполняемое при изготовлении таблеточных конденсаторов, состоит в нанесении слоя припоя на серебряные торцы с одновременным флюсованием. Пайку проволочных выводов также выполняют одновременно с нанесением флюса.

После пайки конденсаторы промывают в растворителе для удаления остатков флюса, сушат и для обеспечения влагозащиты и хорошего внешнего вида окрашивают. Покрытие наносят в два слоя, каждый из которых сушат в печах с инфракрасными излучателями при 160–180°С. Время первой сушки 20 мин и второй – 50 мин. Затем конденсаторы поступают на маркировку, контроль электрических параметров и упаковку.

Пленочная технология позволяет существенно снизить толщину диэлектрика и улучшить удельные характеристики конденсаторов. Схема технологического процесса изготовления конденсаторов по пленочной технологии показана на рис. 106,*б*.

Приготовление стеклокерамической и стеклоэмалевой масс для литья пленок в основном аналогично приготовлению масс для сухого прессования и отличается тем, что помол масс для пленок производится более тонко, а для просеивания порошков используют сита соответственно с числом отверстий 13 900 и 10 000 на 1 $см^2$.

В результате приготовления связки, составления литьевого шликера и вакуумирования его получают тонкодисперсную суспензию, состоящую из твердой фазы (стеклокерамики или стеклоэмали) и органической связки. В качестве связки используют поливиниловый спирт ПВС-1 или ПВС-2. Дополнительно в шликер вводят поверхностно-активные вещества, обеспечивающие лучшую его текучесть, и пластификаторы, повышающие эластичность пленки.

Тщательно перемешанный и отвакуумированный шликер поступает на специальную установку для литья пленки, где он подается в фильеру и оттуда самотеком вытекает на перемещающуюся подложку из органического стекла или фторопласта-4. Толщина пленки зависит от угла наклона нижней плоскости фильеры по отношению к подложке. Чтобы толщина пленки была одинаковой, уровень шликера в фильере должен оставаться постоянным.

Подложки с пленкой поступают в сушильные шкафы на 2–3 ч, после чего подсушенную пленку снимают с подложки и хранят переложенной листами бумаги при 2–5°С. Снятая с подложек пленка эластична и по внешнему виду напоминает бумагу. Пленка имеет ширину 50 и длину до 1500 мм.

Из полученной пленки вырубают пластины (заготовки), которые собирают в пакеты. Для получения высокой электрической прочности конденсаторов пленку укладывают в два и более слоев.

Пакеты конденсаторов собирают в такой последовательности. Вырубленные пластины диэлектрика и серебряная фольга поочередно автоматически поступают на позицию сборки. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет набрано заданное число слоев. Затем собранный пакет снимают с позиции сборки и для фиксации от смещения слоев его торцы смазывают клеем БФ, после чего пакеты стеклокерамических конденсаторов передают на предварительный обжиг, а стеклоэмалевых – на спекание в специальных трехзонных печах. При спекании пакеты подпрессовывают (давление не более $3 \cdot 10^3$ кН). Температура в первой зоне печи 550–600°С. После достижения такой температуры пакеты выдерживают до полного выгорания органических веществ. Затем во второй зоне температура быстро поднимается до 700°С и при этом происходит спекание пакета. В третьей зоне пакеты охлаждаются до 100–150°С.

Остальные операции изготовления пленочных конденсаторов не отличаются от операций изготовления конденсаторов по порошковой технологии.

§ 54. ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Современные требования развития техники (уменьшение габаритных размеров, повышение стабильности параметров и их точности, снижение рабочего напряжения) привели к необходимости разработки и производства нового типа конденсаторов, названного тонкопленочным.

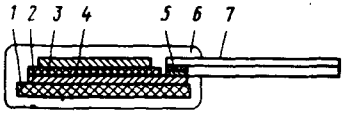


Рис. 107. Тонкопленочный конденсатор К26-1:
1 – сталловая подложка, *2, 4* – нижняя (ванадий-алюминий) и верхняя (алюминий) обкладки, *3* – электрод из нитрида бора, *5* – контактная площадка, *6* – эпоксидный компаунд, *7* – проволочные выводы

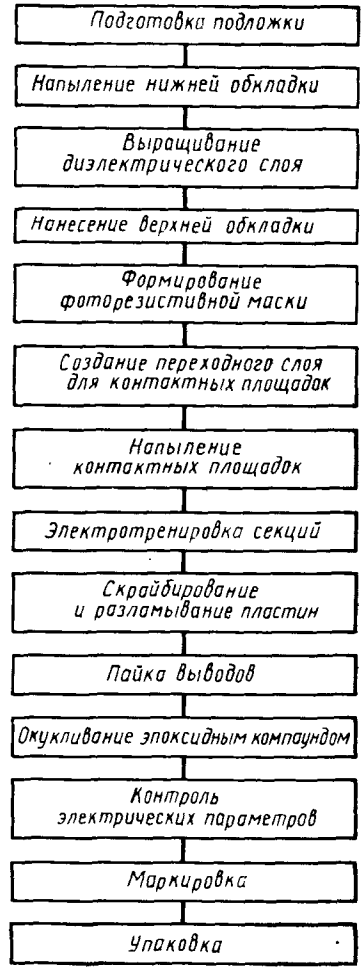


Рис. 108. Схема технологического процесса изготовления тонкопленочных конденсаторов К26-1

Тонкопленочный конденсатор К26-1 выпускают в **двух исполнениях**: чиповом (безвыводном) – для встроенного монтажа на **печатную** плату и с однонаправленными выводами – для навесного монтажа.

Конструкция однослойного конденсатора (рис. 107) состоит из несущей сталловой подложки *1*, последовательно напыленных нижней обкладки с контактными площадками *2*, диэлектрической пленки *3* (δ = 1 мкм), верхней обкладки *4* и трехслойных контактных площадок *5*, к которым припаяны проволочные выводы *7*; секция заливается эпоксидным компаундом *6* для ее влагозащиты.

Конструкция конденсатора не требует применения дефицитных и драгоценных металлов, позволяет изготовлять их интегрально-групповыми методами, обеспечивающими высокую производительность труда.

По электрическим параметрам конденсаторы К26-1 находятся на одном уровне со слюдяными (КСО-1), керамическими (КТ-1, КД-1, КЛС, К10-7В) и стеклоэмалевыми (К21-45) конденсаторами (уступают слюдяным по $tg\delta$ и диапазону ТКЕ); имеют низкое рабочее напряжение и применяются в аппаратуре бытового назначения. Емкость конденсаторов К26-1 не более 10–750 пФ, рабочее напряжение 16 В, $tg\delta$ не более $30 \cdot 10^4$, сопротивление изоляции не менее 10 000 МОм.

По конструкции и технологии изготовления тонкопленочные конденсаторы разделяют на однослойные и многослойные, одиночные и конденсаторные сборки, состоящие из нескольких (последовательно или параллельно) соединенных между собой секций, или резистивно-емкостные состоящие из резистивных элементов и секций конденсаторов, а также подстроечные конденсаторы.

Схема технологического процесса изготовления трехслойного тонкопленочного конденсатора приведена на рис. 108.

В качестве подложки *1* (см. рис. 107) используют пластины из ситалла, перед запуском в производство их подготовляют по технологии полупроводниковых пластин. При подготовке пластины кипятят в перекисно-аммиачном растворе и деионизованной воде. Операцию проводят на серийно выпускаемой установке ПВХО.

Нанесение верхней *4* и нижней *2* обкладок из алюминия, а также переходного слоя контактных площадок *5* для пайки выводов (к обкладкам) выполняют на установках периодического действия (колпакового типа) УВН-75П-1 или непрерывного действия 01-НИ-7-005 методом напыления. Для напыления контактных площадок предпочтительнее использование установок УВН-75П-1.

Чтобы при напылении контактной площадки не запылить все поле секции, его укрывают слоем фоторезиста с "окиами" под контактную площадку, напыляют переходный слой и травлением удаляют фоторезист. Диэлектрический слой наносят методом пиролиза сложного химического вещества в плазме тлеющего ВЧ-разряда на серийно выпускаемой установке УВП-2М. Последующее травление диэлектрического слоя проводят на установке "Плазма-НД".

Перед напылением контактных площадок на обкладку наносят фоторезистивную маску. Этот процесс состоит из нанесения фоторезиста, сушки, экспонирования и проявления и проводится на серийно выпускаемой линии фотолитографии "Лада-Электроника". Далее напыляют контактные площадки и удаляют фоторезист методом травления в плазме на установках "Плазма-600М".

Полученные секции подвергают электрической тренировке групповым методом с использованием полуавтомата "Зонд" для подачи напряжения на контактные площадки секций. После тренировки ситалловые пластины надрезают алмазным диском (скрайбирование) вдоль рядов секций в обоих взаимно перпендикулярных направлениях и разламывают на отдельные секции. Скрайбирование проводят на полуавтомате "Алмаз". Затем к отдельным секциям припаивают выводы. Последующие операции: окукливание эпоксидным компаундом (герметизацию), маркировку и упаковку проводят групповыми методами так же, как керамических и слюдяных конденсаторов.

Контрольные вопросы

1. Какие разновидности керамических конденсаторов вы знаете?
2. Чем отличаются керамический диэлектрик от диэлектрика на основе стекла?
3. Какие основные технологические операции изготовления керамических конденсаторов вы знаете?
4. Какие процессы называются основными и вспомогательными?
5. Какие материалы используют для приготовления керамических и стеклянных масс?

ГЛАВА ШЕСТАЯ

КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ

§ 55. Особенности выполнения массовых измерений

В условиях производства электрические параметры конденсаторов измеряют для контроля их качества. Некоторые параметры определяют в процессе производства для контроля качества выполнения отдельных технологических операций и своевременного выявления и исключения секций с дефектами. Такой контроль называется межоперационным или профилактическим. Все изготовленные конденсаторы контролируют на соответствие их параметров значениям, указанным в технических условиях (ТУ). В одних случаях цеховым персоналом проводится выходной контроль, а в других отдел технического контроля (ОТК) выполняет приемо-сдаточный контроль.

В условиях массового производства выходной контроль бывает двух видов: стопроцентный и выборочный. При стопроцентном контроле измеряют параметры всех предъявляемых к сдаче конденсаторов, а при выборочном из партии конденсаторов, предъявляемых приемке, отбирают определенное число и измеряют их параметры. Если при выборочном контроле параметры абсолютного большинства отобранных конденсаторов соответствуют техническим требованиям, всю партию признают годной, а если параметры нескольких конденсаторов не соответствуют установленным значениям отклонений, всю партию бракуют.

В технических условиях на испытания конденсаторов установлено, по каким параметрам необходимо проводить стопроцентный контроль, а по каким выборочный. Кроме того, указано число испытываемых конденсаторов при выборочном контроле в зависимости от числа их в предъявляемой партии и допустимое число бракованных по этому параметру изделий, в зависимости от которого можно принять или не принять предъявляемую партию.

При проверке устойчивости электрических параметров конденсаторов в критических условиях их подвергают воздействию высоких и низких температур, повышенных влажности и атмосферного давления, вибрации и ударов. Эти испытания, называемые периодическими, проводят раз в квартал.

В случаях изменения технологии или замены материалов проводят квалификационные испытания.

Периодические и классификационные испытания проводят по определенным программам в лабораториях на специализированном оборудовании (камеры теплоты и холода, камеры влажности и барокамеры, вибро- и ударные стенды, центрифуги).

При контрольных и лабораторных измерениях определяют абсолютные значения параметров, а в условиях массового производства при приемосдаточном и выходном контроле в таких измерениях необходимости нет. При этом достаточно измерить отклонение параметра от его номинального значения или установить отличие полученного значения от установленного. Если измеряемый параметр находится в пределах допустимого отклонения, конденсатор считают годным.

Соответствующими ГОСТАми и ТУ на все параметры конденсаторов установлены значения допустимых отклонений, например отклонения от номинальной емкости (классы точности) – ±2%, ±5%, ±10% и ±20%. В технической характеристике на конденсатор обычно указывают номинальную емкость (или другой параметр) и пределы ее отклонения: 10 мкФ ±5% или 10 мкФ ±20% и т.д.

Таким образом, в условиях массового производства приходится выполнять большое количество контрольных операций, что обусловлено множеством измеряемых параметров, многократностью измерений и большим объемом выпуска конденсаторов.

В массовом производстве наибольшая часть измерений приходится на определение отклонений параметров от номинального значения при сортировке и разбраковке конденсаторов в соответствии с их классом точности. При этих измерениях используют несложные методы и сравнительно простые приборы, обеспечивающие достаточную точность. Наиболее распространенными стрелочными приборами для измерения емкости являются МЛЕ-1 и ППРК-4, для измерения $\mathrm{tg}\delta$ – ИПП, для измерения сопротивления изоляции – ТО-2, ТО-6 и для испытания электрической прочности – УПУ-1М.

В последнее время разработаны и серийно выпускаются для измерения емкости и $\mathrm{tg}\delta$ приборы более высокого класса: МЦЕ-12АМ, МЦЕ-13АМ, МЦЕ-14АМ, МЦЕ-15АМ, имеющие цифровой отсчет. Для измерения параметров конденсаторов массового производства широко используют полуавтоматические и автоматические установки, которые в автоматическом цикле контролируют один или несколько параметров: полуавтоматическая установка 6025А для измерения температурного коэффициента керамических конденсаторов; агрегат 6272 для измерения электрической прочности, сопротивления изоляции, емкости и $\mathrm{tg}\delta$ высокочастотных керамических конденсаторов; агрегаты 6015А и 6015Б для контроля параметров пленочных и бумажных конденсаторов; универсальный агрегат 6263 для контроля параметров всех видов конденсаторов с разнонаправленными выводами. Кроме того, для контроля отдельных параметров различных конденсаторов разработаны и изготовлены специализированные установки.

Таким образом, для контрольных измерений параметров конденсаторов, выпускаемых малыми партиями, применяют приборы, а при массовом

выпуске – автоматизированные устройства. Принцип действия цифровых приборов и автоматизированных устройств часто основан на методах измерений и схемных решениях обычных и автоматических электроизмерительных приборов. Например, цифровой прибор МЦЕ-6 состоит из измерителя емкости, подобного измерителю емкости прибора МЛЕ-1, и преобразователя для выдачи цифрового показания. Поэтому далее будут описаны только устройство и принцип действия измерительных приборов. Полная информация о конструкции и работе приборов или автоматизированных устройств дана в инструкциях по их эксплуатации.

При массовых измерениях должна быть организована четкая и технически грамотная эксплуатация измерительных средств. Для сохранности прибора и увеличения срока его эксплуатации проводят планово-предупредительный ремонт. Приборы следует содержать в чистоте.

Измерения производят строго по рабочей инструкции на данный прибор, один экземпляр которой находится на том участке, где используют этот прибор или группу однотипных приборов. Необходимо также следить, чтобы все приборы имели аттестаты периодической поверки по установленной форме и эти аттестаты хранились непосредственно на приборе. Приборы используют только на тех измерительных операциях, для которых они предназначены.

Все применяемые для измерений средства должны обеспечивать необходимую точность.

Точность – это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Высокая точность измерений соответствует малой величине погрешностей как "систематических", так и "случайных".

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Количественно точность и погрешность – взаимообразные величины. Например, если погрешность равна 0,1% = 10^{-3}, то точность при этом равна $1/10^{-3} = 10^{3}$.

Погрешности делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность измерительного прибора – это разность между показателями прибора $X_{п}$ и истинным значением измеряемой величины X, т.е. $X = X_{п} - X$, которая выражается в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность измерительного прибора – это отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой им величины, выражаемая в процентах или безразмерных долях.

В связи с тем, что на практике истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, вместо него пользуются действительным значением, т.е. значением, найденным экспериментально и приближенным к истинному значению. За действительное значение можно принять и значение меры.

В практике измерений используют приведенную погрешность, которая равна отношению погрешности измерительного прибора к нормирующему значению, т.е. принятому условию. Оно может быть равным верхнему пределу измерений, диапазону, длине шкалы. Например, приведенная погрешность вольтметра с верхним пределом измерений 150 В при показании 100 В и действительным значением измеряемого напряжения 100,6 В равна: $U_{отн} = 100,6 - 100/150 \times 100\% = 0,4\%$.

Необходимым условием применения для измерений параметров конденсаторов приборов и автоматических устройств является их аттестация. Так, все измерительные средства должны периодически проходить Государственную поверку, проводимую лабораториями Комитета стандартов, мер и измерительных приборов, или ведомственную, – на заводе. Кроме того, приборы должны проходить контроль, заключающийся во внешнем осмотре и проверке показаний. Внешним осмотром определяется общее состояние и выявляются поврежденные стекла, ручки и зажимы, а также отсоединившиеся детали, которые могли бы препятствовать применению прибора. При поверке сверяют показания проверяемого и образцового приборов, измеряя ими одну и ту же величину, либо контролируют определяющие правильность работы отдельные параметры проверяемого прибора. Результаты внешнего осмотра и поверки показаний оформляют в журнале, который ведется по единой форме.

Измерительные средства, не отвечающие техническим требованиям, к эксплуатации не допускаются, а подлежат ремонту или изъятию.

Измерения должны проводиться технически грамотно, со знанием правил эксплуатации приборов, строго по рабочей инструкции, которая должна обязательно находиться на рабочем месте. Приборы должны быть исправными и чистыми и не должны подвергаться ударам и тряске. Разрешается применять измерительные приспособления только утвержденных конструкций и с теми приборами, для которых они разработаны. Воздух в рабочих помещениях для измерений должен быть чистым, нормальной температуры и влажности.

§ 56. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ

Для измерения абсолютной емкости наиболее широко используют приборы МЛЕ (стрелочные) и МЦЕ (с цифровым отсчетом), а для измерения относительной емкости – приборы ППРК.

Наиболее простым является прибор МЛЕ-1, предназначенный также для измерения $\mathrm{tg}\delta$. Мост МЛЕ-1 позволяет вручную измерять емкость 100 пФ – 1,1 мкФ с погрешностью 0,2% прямым методом и 1 – 1000 пФ с точностью ±2% методом замещения. Измерения можно проводить в диапазоне частот 400–10 000 Гц, но чаще всего их выполняют на частоте 1000 Гц. В качестве источника питания используют автономный генератор ЗГ-4 с выходными мощностью 2 Вт и напряжением 30 В.

Схема измерения емкости прибором МЛЕ-1 показана на рис. 109. В одно плечо моста включают измеряемый конденсатор C_x, а в другие – соответственно эталонный конденсатор C_0 и переменные конденсаторы *C1* и *C2*, соединенные параллельно с резисторами *R1* и *R2*. Плечи с переменными конденсаторами *C1* и *C2* предназначены для балансировки (уравновешивания) моста. Емкость измеряемого конденсатора C_x отсчитывают, когда мост сбалансирован, т.е. ток в его диагонали равен нулю.

Полная схема прибора значительно сложнее, так как он имеет четыре диапазона измерений и позволяет прямым методом и методом замещения измерять емкость и $\mathrm{tg}\delta$. В плечо моста C_0 включен воздушный конденсатор переменной емкости со шкалой, отградуированной в пределах 100– 1100 пФ.

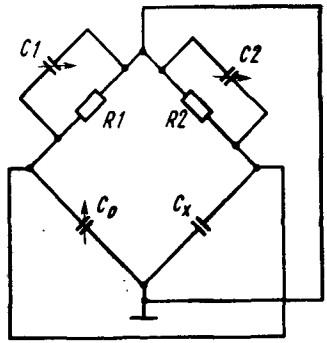


Рис. 109. Схема измерения емкости прибором МЛЕ-1

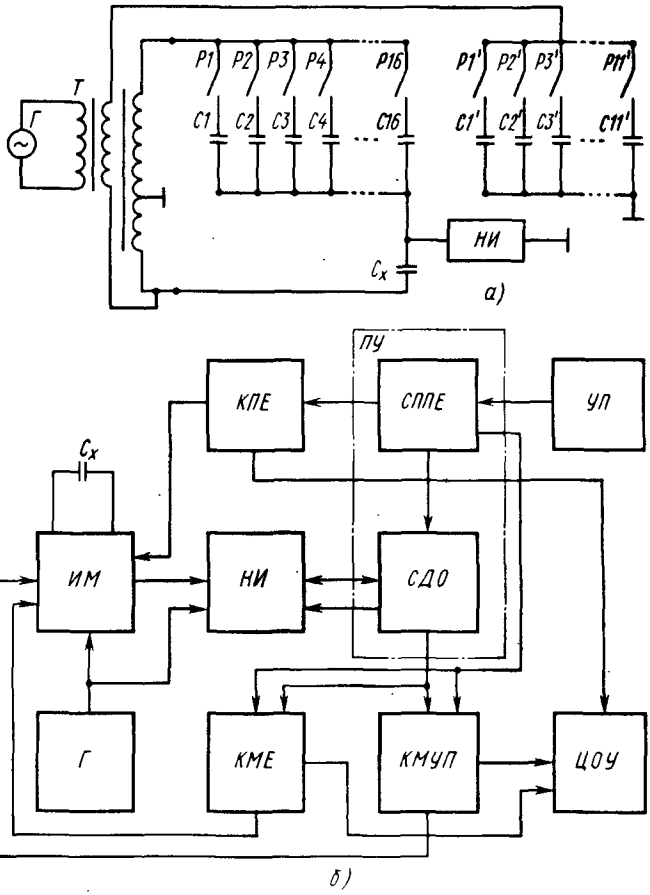


Рис. 110. Схемы прибора МЦЕ-8А:
а – измерений, *б* – функциональная

В плечо *C1R1* включен резистор, параллельно которому подключены четыре конденсатора постоянной емкости, конденсатор переменной емкости и конденсатор полупеременной емкости, с помощью которых мост уравновешивается по фазе. Еще одно плечо *C2R2* состоит из четырех резисторов, шунтируемых четырьмя конденсаторами постоянной емкости, с помощью которых компенсируется начальная емкость плеча *C1R1*. Для возможности измерения тангенса угла дизлектрических потерь методом замещения в плечо *C2R2* предусмотрено дополнительное включение еще двух параллельно соединенных конденсаторов, компенсирующих начальную емкость схемы.

Прибор МЦЕ-8А предназначен для автоматического измерения емкости от 0,5 пФ до 10 мкФ и $\mathrm{tg}\,\delta$ не более $599 \cdot 10^{-4}$. Погрешность измерения емкости при $\mathrm{tg}\,\delta \leqslant 0{,}01$ составляет $\pm(0{,}001\,C + 0{,}2$ пФ $+ m)$, а при $\mathrm{tg}\,\delta > 0{,}01$ равна $\pm(0{,}005\,C + 0{,}2$ пФ $+ m)$, где m – единица отсчета. Погрешность измерения $\mathrm{tg}\,\delta$ при C в пределах от 1000 пФ до 1 мкФ составляет $\pm(0{,}05\,\mathrm{tg}\,\delta + 2 \cdot 10^{-4})$, а при C от 1000 до 100 пФ и $C > 1$ мкф равна $\pm(0{,}05\,\mathrm{tg}\,\delta + 3 \cdot 10^{-4})$. Частота измерительного тока 1000 Гц. Результат в виде четырехзначного числа при измерении емкости и трехзначного при измерении $\mathrm{tg}\,\delta$ высвечивается на специальном цифровом отсчетном устройстве.

Прибор МЦЕ-8А (рис. 110,*а*) представляет собой измерительный мост, но более сложный, чем мост прибора МЛЕ-1. При измерении емкости в уравновешивающее плечо моста включается 16 параллельно соединенных образцовых конденсаторов *C1 – C16* магазина емкостей, а при измерении $\mathrm{tg}\,\delta$ – 11 параллельно соединенных конденсаторов *C1 – C11* другого магазина емкостей.

Момент равновесия моста при измерении емкости и $\mathrm{tg}\,\delta$ фиксируется нуль-индикатором. Автоматический режим работы прибора обеспечивается большим количеством дополнительных устройств, которые показаны на функциональной схеме (рис. 110,*б*). При работе прибора с генератора *Г* на измерительный мост *ИМ* и нуль-индикатор *НИ* подается измерительное напряжение. Нуль-индикатор определяет состояние измерительного моста и выдает сигнал на программное устройство *ПУ*, которое определяет длительность тактов и их последовательность в измерительном режиме.

По сигналу с устройства пуска *УП* программное устройство *ПУ* производит поиск требуемого поддиапазона емкости, изменяя отношение плеч моста через коммутатор поддиапазонов емкости *КПЕ* (работает система поиска поддиапазонов емкости *СППЕ* в *ПУ*). После этого программное устройство уравновешивает мост (работает система дискретной обработки *СДО* в *ПУ*), подключая в течение каждого такта по одному образцовому конденсатору к измерительному мосту при помощи коммутаторов соответственно из магазинов емкостей *МКЕ* и $\mathrm{tg}\,\delta$ *КМУП* и отключая по сигналу с нуль-индикатора те из них, которые привели к перебалансу моста. Таким образом подбирается емкость и $\mathrm{tg}\,\delta$, соответствующие измеряемым, а также фиксируются и высвечиваются на цифровом отсчитывающем устройстве *ЦОУ* их значения.

Приборы серии ППРК предназначены для разбраковки (вручную) конденсаторов 10 – 100 000 пФ по отклонению емкости от номинальной на группы: ±5%, ±10%, ±20% и брак. Точность измерений ±2%. Измерения выполняют на частоте 20 000 и 1000 Гц.

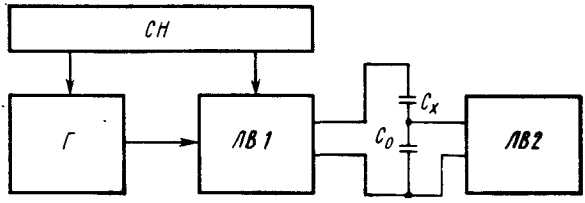


Рис. 111. Функциональная схема прибора ППРК

В основе работы прибора лежит зависимость подаваемого и снимаемого напряжений от емкости конденсатора. Если на два конденсатора, емкость C_0 одного из которых известна, подать напряжение U_1 и измерить напряжение U_2 на выходе, емкость измеряемого конденсатора $C_x = U_2 C_0/(U_1 - U_2)$.

Прибор ППРК (рис. 111) состоит из генератора *Г*, стабилизатора напряжения *СН*, входного *ЛВ1* и выходного *ЛВ2* ламповых вольтметров и конденсатора C_0 эталонной емкости. Измеряемый конденсатор включается параллельно с конденсатором C_0. Шкала показаний стрелочного прибора лампового вольтметра *ЛВ2* проградуирована в процентах отклонения измеряемой емкости от номинальной.

§ 57. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Диэлектрические потери, а следовательно, и $\operatorname{tg}\delta$ характеризующий их, незначительны (угол измеряется градусами и долями градуса), но колебания их велики. Точность измерения $\operatorname{tg}\delta$ зависит от температуры, влажности окружающего воздуха и частоты измерительного тока. Поэтому эти величины строго регламентируются: относительная влажность должна быть не более 80%, температура окружающего воздуха – 20° С ±5° С, а частота измерительного тока – от 50 Гц до 1 МГц.

В большинстве случаев $\operatorname{tg}\delta$ измеряют одновременно с емкостью на одних и тех же приборах. Существуют также приборы, предназначенные только для измерения $\operatorname{tg}\delta$, например, серии ИПП.

Приборы ИПП-1, ИПП-2, ИПП-3 позволяют измерять $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов емкостью 10–10 000 пФ на частоте $1 \cdot 10^3$ и $3 \cdot 10^2$ кГц. Пределы измерений $1 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$ с погрешностью $\pm (0{,}05 \operatorname{tg}\delta + 1 \cdot 10^{-4})$.

При измерениях конденсатор с последовательно соединенным с ним образцовым резистором подключают к стабилизированному источнику напряжения. Под его воздействием в цепи проходит ток, который определяется сопротивлением изоляции конденсатора, так как образцовый резистор выбирают на несколько порядков (в 100–1000 раз) меньше. Измеряя падение напряжения на образцовом резисторе, определяют ток в цепи. Зная этот ток и значение измерительного напряжения, можно найти сопротивление изоляции.

Приборы ИПП (рис. 112) состоят из выпрямителя *В*, генератора *Г*, колебательного контура *КК* генератора, измерительного прибора *А* и мосто-

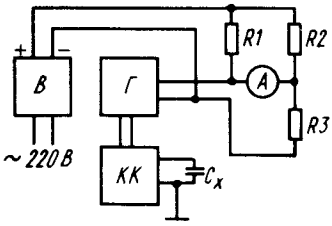


Рис. 112. Функциональная схема прибора ИПП

вой схемы *R1, R2, R3.* В исходном положении мост находится в равновесии. При измерении $\mathrm{tg}\,\delta$ эталонный конденсатор колебательного контура прибора заменяется измеряемым конденсатором C_x. В результате этого изменяются добротность контура и сопротивление лампы $R_л$ генератора постоянному току.

Зависимость сопротивления лампы $R_л$ постоянному току от анодного напряжения $E_а$ и анодного тока $I_а$ выражается формулой $R_л = E_а/I_а$. Так как $E_а = \mathrm{const}$, то $R_л = f(I_а)$ или $R_л = f(\mathrm{tg}\,\delta)$. В связи с тем, что на ток I_0 в измерительной диагонали моста влияет сопротивление лампы $R_л$, эта зависимость будет справедлива и для этого тока, т.е. $I_0 = f(\mathrm{tg}\,\delta)$, что позволяет проградуировать шкалу прибора для непосредственного отсчета $\mathrm{tg}\,\delta$. Этим методом можно измерить $\mathrm{tg}\,\delta$ конденсаторов, емкость которых отличается от номинальной не более чем на ±20%.

§ 58. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЕМКОСТИ

Влияние температуры на емкость конденсатора характеризуется температурным коэффициентом емкости (ТКЕ) – одним из важнейших параметров конденсаторов, определяющим их применение в различной аппаратуре. Измеряют ТКЕ статическим и динамическим методами. При статическом методе температура окружающей среды и измеряемого конденсатора в течение времени определения ТКЕ должна быть одинаковой.

Динамический метод позволяет выполнять измерения ТКЕ при неодинаковой температуре среды и конденсатора, является более удобным, но более сложным. Этот метод почти не применяют. Таким образом, на производстве ТКЕ измеряют в основном в статическом режиме, используя мостовой или резонансный метод.

Мостовой метод является прямым, так как им непосредственно определяют емкость C и ее изменение ΔC, а резонансный – косвенным, так как им измеряют частоту f и ее изменение Δf при изменении емкости конденсатора. Мостовой метод сложнее резонансного, но точнее его, поэтому в последнее время отдают предпочтение мостовому методу.

Для измерения ТКЕ используют серию приборов и установок, среди которых первые модификации (ТКЕ-1 и ТКЕ-2) работают на основе резонансного метода, а последние (ТКЕ-10) – на основе мостового.

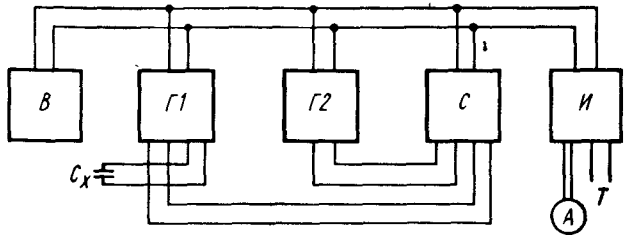


Рис. 113. Функциональная схема прибора ТКЕ-1

Конденсаторы емкостью 10–20 пФ измеряют прибором ТКЕ-1 на частоте 2 МГц с погрешностью $\pm(0{,}05\% + 5 \cdot 10^{-6})$. Прибор ТКЕ-1 (рис. 113) имеет два генератора *Г1* и *Г2* соответственно фиксированной и переменной частоты. Изменение емкости исследуемого конденсатора от температуры вызывает изменение частоты генератора *Г2*. При этом из-за разности частот генераторов в контуре возникают так называемые биения. Подстроечным конденсатором частоту генератора *Г2* выравнивают до частоты *Г1*, т.е. сводят разность частот к нулю, в результате чего биения исчезают. Значение подстроечной емкости равно изменению емкости исследуемого конденсатора. Показания снимают непосредственно по шкале прибора, проградуированной в единицах емкости. Биение прослушивают по подключенному в контур телефону с наушниками; при исчезновении биения звук в телефоне исчезает.

В прибор кроме генераторов *Г1* и *Г2* входят выпрямитель *В*, смеситель *С*, индикатор *И*, измерительный прибор *А* и телефон *Т*.

Для нагревания конденсаторов используют специальный термостат, в котором терморегулятором автоматически поддерживается постоянная температура в пределах 30–70°С.

Установка ТКЕ-10 позволяет измерять ТКЕ конденсаторов емкостью 1–1000 пФ на частоте 0,3 мГц с погрешностью $\pm(5\% + 2 \cdot 10^{-6} + 3/C \text{ пФ} \cdot 10^{-6})$ и имеет термостат, обеспечивающий изменения температуры в пределах от –80 до +120°С (для охлаждения служит система с жидким азотом). Измеряемые конденсаторы загружают в термостат в специальной кассете.

В измерительную часть установки входят мост с индуктивно связанными плечами и автокомпенсирующей ветвью (для повышения точности измерения) и индуктивные делители напряжения. В два плеча моста включены конденсаторы, симметрирующие трансформаторы и усилители с отрицательным коэффициентом усиления, а в третье плечо – дискретные емкости 500, 200, 100, 50, 20, 10 пФ и соответствующие индуктивные делители напряжения. Четвертое плечо является измерительным.

§ 59. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

При работе конденсатора постоянный ток проходит не только по его обкладкам, но и между ними по диэлектрику. Ток, проходящий в диэлект-

рике между обкладками заряженного конденсатора, называется током утечки. Диэлектрик имеет очень большое сопротивление.

Такие внешние факторы, как температура, влажность, давление, оказывают значительное влияние на сопротивление изоляции, поэтому оно не постоянно во времени, что затрудняет его измерение. Кроме того, при подаче на конденсатор напряжения ток утечки в несколько раз превышает действительный, устанавливающийся, например, через 30–60 мин, так как в первые минуты диэлектрик не успевает поляризоваться. Поэтому условное сопротивление изоляции, измеренное в первую минуту после подачи напряжения, может быть в несколько раз меньше истинного.

В производственных условиях, при большом количестве измерений, приходится определять сопротивление изоляции в первые минуты, так как выдерживать конденсаторы 30–60 мин не представляется возможным. Таким образом, по условному сопротивлению изоляции можно сравнивать и оценивать конденсаторы при одинаковых режимах испытаний. По сопротивлению изоляции нельзя установить дефекты в диэлектрике, так как оно не во всех случаях характеризует его сквозную проводимость. Следовательно, сопротивление изоляции является важнейшим, но не единственным в этом аспекте параметром, характеризующим конденсатор.

Существуют три метода определения сопротивления изоляции: вольтметра–амперметра, заряда – разряда и компенсационный, каждый из которых имеет несколько схем измерения. Наибольшее распространение для разбраковки конденсаторов по сопротивлению изоляции получил метод вольтметра – амперметра, на основе которого работают приборы ТО.

Приборы ИПП работают на основе генераторного метода. Измерительная цепь представляет собой колебательный контур, к которому подключается испытуемый конденсатор.

Контур входит в состав генератора на лампе. При возрастании потерь в контуре уменьшается амплитуда колебаний, следовательно, и напряжение смещения на сетке лампы, что приводит к увеличению анодного тока. Это эквивалентно уменьшению сопротивления лампы постоянному току. Лампа включена в мостовую схему, что позволяет повысить точность измерений.

Приборы ТО-1, ТО-2А, ТО-2Б, ТО-6М предназначены для измерения сопротивления изоляции в диапазоне $10^6 - 10^{12}$ Ом конденсаторов различной емкости (ТО-1 до 0,25 мкФ; ТО-2А и ТО-2Б до 30 мкФ и ТО-6М до 100 мкФ).

Прибором ТО-2А (рис. 114) можно измерять сопротивление изоляции в пределах $10^5 - 10^{11}$ Ом с погрешностью не более ±20% при десяти измерительных напряжениях (1–10 В через 1 В).

При измерении напряжения с выхода стабилизированного источника питания *ИП* подается на делитель, состоящий из резисторов *R1–R10*, откуда оно снимается в соответствии с положением переключателя *B1*. Это напряжение *U* передается на один вывод измеряемого конденсатора C_x. К другому выводу конденсатора подключают второй делитель, состоящий из резисторов *R11–R19*, и магазин сопротивлений из резисторов *R20–R30*.

Со второго делителя напряжение подается на усилитель *У* постоянного тока, к выходу которого подключен стрелочный прибор *A*, проградуиро-

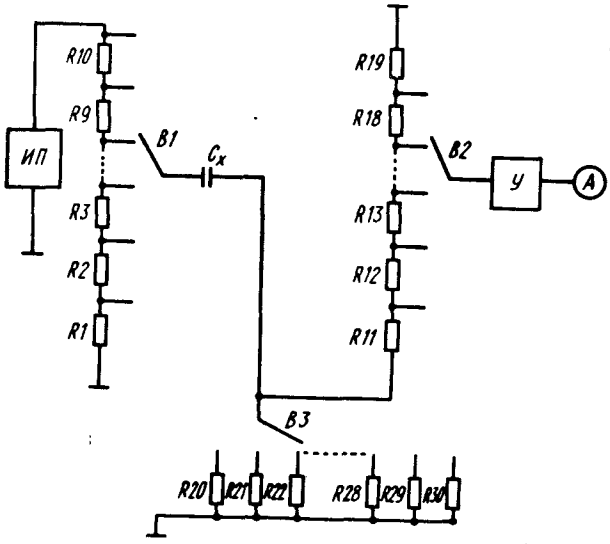


Рис. 114. Функциональная схема прибора ТО-2А

ванный в единицах сопротивления. Сопротивление $R_{эт}$ между вторым выводом конденсатора и землей постоянно и во много раз меньше измеряемого сопротивления R_X. Напряжение на выходе усилителя определяют по формуле $U_{вых} = 2kR_{эт}/R_X$ (где k – коэффициент усилителя).

Таким образом, выходное напряжение зависит от сопротивления R_X измеряемого конденсатора и известного сопротивления $R_{эт}$, что позволяет отградуировать прибор в единицах сопротивления.

§ 60. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

В массовом производстве испытывать электрическую прочность конденсаторов напряжением, при котором происходит пробой, невозможно, так как при этом они приходят в негодность. Поэтому испытание электрической прочности проводят при напряжении, в 1,5–3 раза превышающем рабочее, в течение 10 с. При испытаниях конденсаторов проверяют электрическую прочность не только диэлектрика, но и между выводами и корпусом, для чего используют так называемые пробойные установки различных конструкций, имеющие общий принцип действия, аналогичный принципу действия обычных выпрямителей. Так как эти установки являются высоковольтными, при работе на них должны особенно тщательно соблюдаться правила техники безопасности. Работать на установках могут только лица, прошедшие специальный инструктаж. Необходимым условием безопасной работы является обязательный разряд конденсаторов после испытаний на ограничительный резистор 3000–10 000 Ом.

Электрическую прочность высоковольтных конденсаторов измеряют на пробоиных установках УПУ-1М, а низковольтных – на приборе 6255.

Универсальный прибор 6255 автоматического действия для контроля электрической прочности конденсаторов (рис. 115) предназначен как для индивидуальной работы, так и в комплексных автоматах и обеспечивает разбраковку конденсаторов на две группы: годные и брак. Испытательное напряжение составляет 20–3000 В; ток, проходящий через испытываемые конденсаторы 0,1–0,25 мА, погрешность измерения ±2,5%. При работе по вольтметру *V* прибора устанавливают испытательное напряжение, подаваемое на два контролируемых конденсатора C_{x1} и C_{x2} от источника питания *ИП*, в который входят автотрансформатор *Т*, высоковольтный трансформатор *Т* и выпрямитель *В*. Сигналы с двух контролируемых конденсаторов поступают на схемы двух индикаторов *И1* и *И2*, состоящих соответственно из усилителей *У1* и *У2*, схем совпадения с усилителями *ССУ1* и *ССУ2*, испытательных триггеров *ИТ1* и *ИТ2* и реле *Р1* и *Р2*.

Каждый индикатор работает следующим образом. На один из входов схемы совпадения поступает сигнал с усилителя, а на другой ее вход подаются сигналы о наличии контролируемых конденсаторов в контактных зажимах *К1* и *К2* измерительной позиции.

Со схемы запуска *СЗП* на третий вход схемы совпадения поступает положительный импульс длительностью 0,2–0,3 с, который приводит исполнительные триггеры в исходное положение. Если на схему совпадения поступают сигнал о наличии контролируемого конденсатора в зажимах прибора и сигнал "годен" с измерительной цепи (электрическая прочность контролируемого конденсатора выше допустимой), то при приходе импульса опроса испытательный триггер переключается. После этого подает-

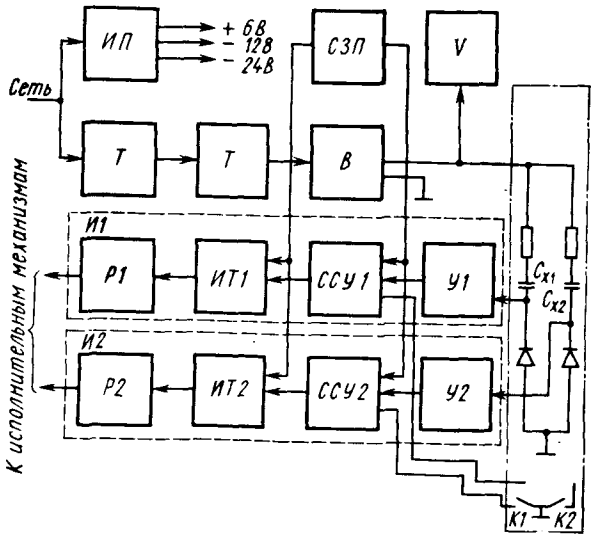


Рис. 115. Функциональная схема прибора 6255

ся напряжение на реле, которое своими контактами замыкает цепь сигнальной лампы и размыкает цепь питания механизма сброса конденсатора. При этом загорается сигнальная лампа, показывающая, что конденсатор годен, и он сбрасывается в бункер годных (при работе прибора в составе автоматического измерительного агрегата).

При поступлении сигнала "брак" (прочность контролируемого конденсатора ниже допустимой) триггер остается в исходном состоянии. В этом случае цепь питания сигнальной лампы остается разомкнутой (лампа не загорается), а цепь питания механизма сброса – замкнутой, и конденсатор сбрасывается в бункер бракованных.

§ 61. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Электролитические конденсаторы являются полярными: их используют только при постоянном или пульсирующем напряжении. При включении их в электрическую цепь необходимо соблюдать полярность.

При массовых измерениях электролитических конденсаторов проверяют три параметра: емкость, $\mathrm{tg}\delta$ и ток утечки, для определения которых используют приборы РМЭ-8 и РМЭ-10А, а также автоматические установки, работающие по тому же принципу.

Прибор РМЭ-8 позволяет измерять емкость в пределах от 0 до 10 000 мкФ, $\mathrm{tg}\delta$ – от 0,5 до 100% и ток утечки – от 0,1 мкА до 10 мА. Погрешности прибора следующие: измерения емкости в пределах от 0,01 до 0,1 мкФ ±3%; от 0,1 до 2000 мкФ ±2% и от 2000 до 10 000 мкФ ±3%; $\mathrm{tg}\delta$ ± (0,05 $\mathrm{tg}\delta$ + 0,5%); тока утечки ± (2,5% + 0,1 мкА). Емкость и $\mathrm{tg}\delta$ измеряют мостовым методом.

Равновесие моста (рис. 116), определяемое по отсутствию тока в конденсаторе, наступает при равенстве соотношений: $C_x = C_{эт}R_2/R_1$ и $\mathrm{tg}\delta = \omega C_{эт}R_{эт}$ (где C_x и $C_{эт}$ – емкости измеряемого и эталонного конденсаторов, $R1$ и $R2$ – сопротивления переменных резисторов, включенных в

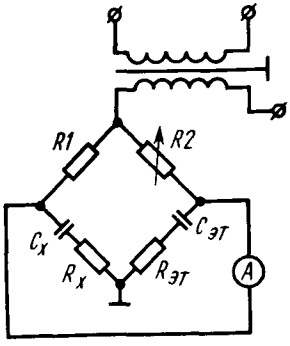


Рис. 116. Схема моста прибора РМЭ-8

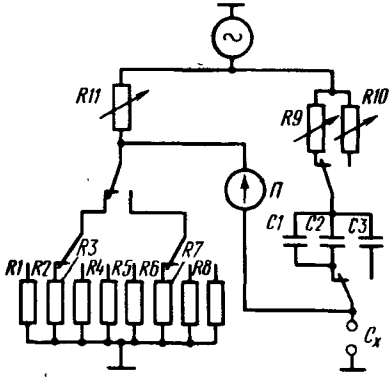


Рис. 117. Схема прибора РМЭ-10А: $R1 - R11$ – резисторы, $C1 - C3$ – конденсаторы, $П$ – стрелочный прибор, C_x – измеряемый коиденсатор

плечи моста; $R_{эт}$ – сопротивление резистора отсчета tgδ, ω – частота измерения).

Уравновешивание моста по емкости производят переменным резистором *R2* магазина сопротивлений, проградуированным в единицах емкости. Изменением сопротивления этого резистора перекрывается участок диапазона емкостей с отношением максимальной емкости к минимальной, равным 10.

Равновесие моста по tgδ получают потенциометром $R_{эт}$, проградуированным для непосредственного отсчета tgδ.

Ток утечки измеряют при номинальном напряжении поляризации.

Прибор РМЭ-10А предназначен для измерения: емкости электролитических конденсаторов в пределах 1–330 мкФ при частоте 2 кГц и 0,1–30 мкФ при частоте 10 кГц с погрешностью ±5%; tgδ в пределах 0,01–3 с погрешностью $\pm(0{,}1\,\mathrm{tg}\delta + 0{,}01)$; тока утечки в пределах 1 мкА – 1 мА с поддиапазонами 0–50; 0–100; 0–500 мкА и 0–1 мА с погрешностью измерения $\pm(0{,}025 I_{max} + 1$ мкА), где I_{max} – максимальный ток утечки, измеряемый на данном поддиапазоне.

Измерение емкости и tgδ производят при переменном напряжении не более 1 В частотой (2 ±0,05 кГц) и не более 0,2 В частотой (10 ±2 кГц).

Основой прибора является мост переменного тока, который состоит из ветви сравнения и ветви измеряемого конденсатора. Упрощенная схема моста прибора РМЭ-10А приведена на рис. 117.

В ветвь сравнения входят переменный резистор *R11,* используемый для уравновешивания моста по емкости, а также резисторы *R1–R4,* включаемые в схему при частоте 2 кГц и *R5–R8* – при частоте 10 кГц. Ветвь измеряемого конденсатора C_x состоит из образцовых конденсаторов *C1* и *C2* (при частоте 2 кГц) и *C3* (при частоте 10 кГц), переменных резисторов *R9* и *R10,* которыми мост уравновешивается по tgδ и зажимов для подключения измеряемого конденсатора.

Как известно, при разбалансе моста по емкости на индикаторной диагонали возникает напряжение, совпадающее по фазе с напряжением генератора, а при разбалансе по tgδ – напряжение, близкое к квадратурному. Поэтому, использовав фазочувствительную индикаторную систему с двумя стрелочными приборами на выходе, один из которых показывает однофазное, а второй квадратурное напряжения на индикаторной диагонали, можно ускорить процесс уравновешивания моста.

Чтобы измерить конденсатор, его подключают к зажимам C_x, а затем переводят переключатель "Измерение–разряд" в положение "Измерение". Поворачивая лимбы "Емкость" и "Тангенс", уравновешивают мост, установив стрелки соответствующих индикаторов на отметки в середине шкалы. При этом следует помнить, что поворот лимба влечет за собой поворот стрелки индикатора в том же направлении.

После того как мост уравновешен, производят отсчет емкости и tgδ по лимбам. Далее по шкале микроамперметра производят отсчет тока утечки. Для этого переводят тумблер "Измерение–заряд" в положение "Разряд".

§ 62. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПАРАМЕТРОВ

В зависимости от конструкции и назначения различные комплексы, применяемые для автоматизированного контроля параметров конденсаторов, называют автоматами, полуавтоматами, установками и агрегатами. Эти названия, будучи условными, полностью не характеризуют технический уровень измерительных комплексов. Точнее его можно определить по двум признакам: количеству выполняемых операций и способу загрузки измеряемых конденсаторов.

По количеству выполняемых операций измерительные комплексы могут быть однооперационными и многооперационными, предназначенными для измерения одного или нескольких различных параметров. По способу загрузки их делят на полуавтоматические и автоматические, предназначенные для ручной и автоматической загрузки измеряемых конденсаторов. Автоматические комплексы могут быть встроенными в линию сборки конденсаторов и автономными, работающими независимо от линий сборки (например, автомат 6015). Кроме того, они могут быть межоперационными и контрольными, предназначенными для промежуточного и выходного контроля.

Большинство измерительных комплексов представляют собой довольно сложные механические и электроизмерительные устройства.

Рассмотрим для примера агрегат 6263, предназначенный для контроля электрической прочности, сопротивления изоляции, емкости и $\mathrm{tg}\delta$ керамических, пленочных, слюдяных, металлобумажных и других конденсаторов с разнонаправленными выводами. Максимальный размер конденсаторов по ширине (или диаметру) 20 мм.

Для работы в составе автоматических линий по изготовлению конденсаторов, а также для автоиомной работы агрегат 6263 выпускают шести модификаций. При автономной работе возможна автоматическая (от специального бункера) или ручная загрузка измеряемых конденсаторов.

При контроле электрической прочности между выводами, а также между выводами и металлическим корпусом обеспечивается постепенный подъем испытательного напряжения от нуля до максимального значения, выдержка конденсаторов под напряжением и разряд после контроля. Испытательное напряжение плавно устанавливается в пределах 50–3000 В с погрешностью не более ±2,5%. При испытании производят автоматическую отбраковку конденсаторов, ток утечки которых превышает 100–250 мА.

При контроле сопротивления изоляции между выводами, а также между закороченным выводом и металлическим корпусом обеспечивается автоматическая отбраковка конденсаторов, сопротивление изоляции которых ниже установленного предельного значения (0,021–1 ГОм при измерительном напряжении 10 В и 0,1–100 ГОм при 100 или 500 В). Перед измерением сопротивления изоляции конденсаторы выдерживают под напряжением постоянного тока 10 В ±1 В; 100 В ±5 В и 500 В ±25 В с погрешностью не более ±20%.

При контроле емкости $\mathrm{tg}\delta$ (при частоте 1 МГц ±6 кГц и 1 кГц ±20 Гц) емкость конденсаторов измеряют в пределах 15–10 000 пФ и 100–10 мкФ

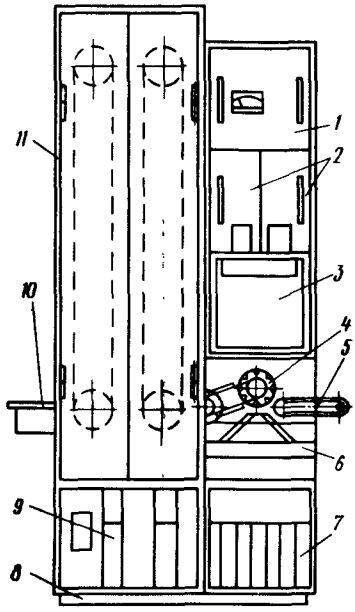


Рис. 118. Агрегат 6263:
1, 2, 3 – измерительные приборы, *4* – распределительное устройство, *5* – выводной транспортер, *6* – пульт управления, *7* – приемные бункера, *8* – рама, *9* – бункер брака, *10* – стол, *11* – шкаф с транспортером

с погрешностью не более $\pm(0{,}005C + 0{,}2) \div 0{,}01C$ и сортируют их по процентному отклонению от номинала на четыре группы годных (±2%; ±5%; ±10%; ±20%) и две группы брака (больше и меньше ±20%). Кроме того, обеспечивают контроль и отбраковку конденсаторов, $\operatorname{tg}\delta$ которых превышает заданные предельные значения; погрешность измерений не более $\pm(0{,}1\operatorname{tg}\delta + 2 \cdot 10^{-4})$. Одновременно обеспечивают счет загруженных в агрегат, годных по группам отклонения емкости и выдаваемых с контроля конденсаторов.

Ошибочно забракованные конденсаторы не превышают 0,5% от общего числа загруженных в агрегат. Агрегат 6263 (рис. 118) работает следующим образом. Конденсаторы вручную или автоматически загружают в гнезда приемных дисков конвейера загрузки. Конвейер передает конденсаторы на барабан перекладчика, который загружает их в зажимы контактных кассет, укрепленных в первом вертикальном цепном конвейере.

Имеющиеся в кассетах подпружиненные рычаги обеспечивают зажим выводов и соединение их с двумя находящимися на каждой кассете контактами, которые при движении конвейера скользят по специальным шинам подачи на конденсаторы испытательного и измерительного напряжения. При этом на первом испытательном конвейере контролируют электрическую прочность между выводами. Для этого поднимают испытательное напряжение от нуля до установленного значения в течение 3–5 с и выдерживают конденсатор под напряжением в течение 10 с. Далее контролируют электрическую прочность между выводами, смещая штыри электромагнитами, если она ниже допустимой, и разряжают конденсаторы. Аналогично контролируют электрическую прочность между выводами и корпусом.

Смещенные штыри (т.е. кассеты с невыдержавшими испытания кон-

денсаторами) при этом замыкают специальный контакт, в результате чего срабатывает электромагнит сброса и эти конденсаторы выбрасываются в бункер брака.

При дальнейшем движении первого конвейера происходит перекладка конденсаторов, выдержавших испытания по электрической прочности, на второй вертикальный конвейер, имеющий такую же конструкцию, как первый.

На втором вертикальном конвейере контролируют сопротивление изоляции между выводами, а также, если необходимо, между выводами и корпусом. Для этого выдерживают конденсаторы в течение 60 или 40 с под напряжением 10, 100 или 500 В, контролируют сопротивление изоляции между выводами и между соединенными выводами и металлическим корпусом, после чего смещают штырь кассеты того конденсатора, сопротивление изоляции которого меньше установленного предельного значения, и конденсаторы разряжают.

При дальнейшем перемещении конвейера бракованные конденсаторы сбрасываются, а годные специальным перекладчиком подаются на наклонный конвейер. Приборами *1, 2, 3,* смонтированными на измерительной стойке конвейера, измеряют емкость и $\mathrm{tg}\delta$, записывая результаты измерений в электромагнитном запоминающем устройстве, которое выдает записанную информацию через четыре цикла. Эта информация поступает в блок автоматики, обеспечивающий выдачу команд на распределительное устройство, счетчики числа годных конденсаторов и специальный разъем, предназначенный для передачи необходимой информации на ЭВМ.

Наклонный транспортер имеет распределительное устройство – шахту с набором заслонок, приводимых в движение электромагнитами. Проходя заслонки, соответствующие определенной допусковой группе, конденсатор попадает в нужный приемный бункер.

При работе агрегата в составе линии специальный электромагнит по команде, поступающей с блока автоматики, обеспечивает выдачу конденсаторов каждой допусковой группы на соответствующий выводной транспортер, передающий их на следующую операцию.

Контрольные вопросы

1. Какие электрические параметры обычно контролируют у конденсаторов?
2. Назовите погрешности измерения и дайте их определение.
3. Какие электрические параметры конденсаторов измеряют прибором МЛЕ-1?
4. По какому принципу работают приборы ИПП?
5. Какими приборами измеряют сопротивление изоляции?
6. Какими приборами можно измерить ТКЕ?
7. Какие электрические параметры проверяют у электролитических конденсаторов?

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

§ 63. РОЛЬ ЭВМ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ И ПРОИЗВОДСТВОМ

В электронной промышленности созданы автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) и автоматизированные системы управления производством (АСУП).

Благодаря большому быстродействию ЭВМ можно построить системы управления для быстро протекающих технологических процессов, когда человек не успевает вовремя отреагировать на изменение показаний каких-либо приборов. В этом случае ЭВМ может не только управлять процессом, но и быстро приостановить его при возникновении опасной ситуации. Кроме того, ЭВМ одновременно следит за изменением большого количества параметров технологического процесса и рассчитывает оптимальный вариант управления.

Электронно-вычислительная машина ничего не "забывает". Запоминая большое количество данных, она способна с большой скоростью вести поиск этих данных и выдавать информацию для дальнейшего управления. Так, при возникновении в процессе управления редко встречающейся ситуации человеку необходимо заглянуть в инструкцию и найти рекомендации, как действовать. Между тем ЭВМ из всех рекомендаций выбирает лучшую и с большей скоростью, что в ряде случаев является решающим фактором.

В связи с тем, что ЭВМ не обладает эмоциями, она действует одинаково быстро в любой ситуации, в то время как человек при возникновении сложной или опасной ситуации может растеряться и произвести неправильные действия.

Человек, пришедший на производство, проходит определенное обучение, тем более длительное, чем сложнее операция, которую он должен выполнять. Для ЭВМ это не требуется: она одинаково квалифицированно работает в первый день работы, через 10 лет и, кроме того, никогда не "устает". Эти преимущества и определяют целесообразность использования ЭВМ в управлении технологическими процессами.

Осуществляя управление технологическим процессом, ЭВМ получает информацию о его ходе и выдает регулирующие воздействия (в частном случае — советы оператору) в соответствии с алгоритмом управления, заложенным в запоминающие устройства в виде программы.

Задача системы управления технологическим процессом состоит в получении данных о технологическом режиме, выполнении на основе этих данных прогноза хода процесса, составлении и реализации плана управляющих воздействий (определенный изменением режимов работы оборудования или последовательности выполнения операций) для обеспечения оптимального технологического режима. Следовательно, управление ЭВМ технологическим процессом — это управление режимами работы технологического оборудования в автоматическом режиме без вмешательства человека.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами применяют в тех случаях, когда операции сложны по содержанию, должна быть измерена и проанализирована информация, поступающая с контрольных точек технологических операций, либо необходимо исключить отрицательные действия человека.

Система АСУТП позволяет перевести производственные процессы на качественно новую ступень с более высокой степенью организации, повысить производительность труда, объем выпуска изделий и их качество, съэкономить сырье, материалы и энергию.

Разновидностью АСУТП является числовое программное управление (ЧПУ) оборудованием. Применение ЧПУ создает базу для объединения однотипного оборудования в общий технологический процесс с двусторонним обменом информацией каждого агрегата с ЭВМ. Это обеспечивает эффективное управление производственным процессом, повышает коэффициент загрузки оборудования, сокращает производственные потери. Кроме того, при ЧПУ исключаются носители информации (перфоленты, перфокарты, магнитные ленты), что упрощает функции операторов и повышает надежность работы, а также появляется возможность обработки результатов работы станков, учета их занятости, исправности и др.

Перечисленные функции ЭВМ называют управляющими, но ЭВМ могут работать в информационном режиме, т.е. в режиме сбора, хранения, систематизации, обработки и выдачи информации.

На основе информационного режима работы ЭВМ разработаны АСУП на различных уровнях производственной организации (например, участка, цеха или завода).

В задачи АСУП на участке входят: контроль точности выполнения технологического процесса; учет брака по отдельным операциям; расчет фактического выполнения плана за смену, сутки, с начала месяца и текущих технико-экономических показателей технологических линий; сбор и автоматическая передача в вычислительный центр предприятия сводных данных за сутки и смену; наглядное отображение хода технологического процесса с указанием времени начала и конца операций, номеров работающего оборудования и партии изделий.

Для АСУТП, ЧПУ и АСУП на уровне участка применяют микро- и миниЭВМ, а для АСУП на уровне завода, объединения, отрасли – ЭВМ с большим объемом памяти, быстродействием и числом выполняемых операций.

Подготовка управленческого решения связана с обработкой большого объема различной информации.

Автоматизированная система управления производством – это комплекс организационно-экономических систем управления, состоящих из отдельных подсистем, определяемых конкретной целью и задачей управления. В состав функциональных подсистем АСУП входят: технико-экономическое планирование; бухгалтерский учет; оперативное управление основным производством; управление материально-техническим снабжением, технической подготовкой производства, нормированием материалов (АСУНМ), сбытом и реализацией готовой продукции, финансами, кадрами.

Рассмотрим состав одной из подсистем АСУП – сбыта и реализации готовой продукции.

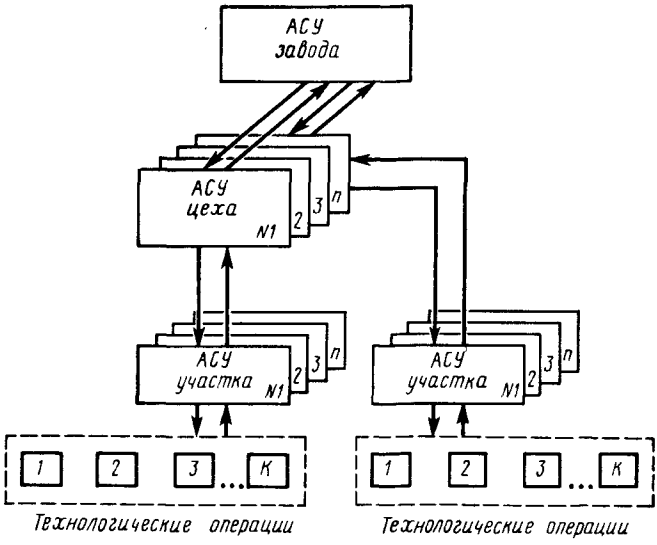


Рис. 119. Схема управления заводом

Необходимость использования ЭВМ для оперативного управления сбытом и реализацией готовой продукции обусловлена большим объемом информации о количестве выпускаемых изделий, типе производства (крупно-серийное, серийное), количестве грузополучателей и сроках поставки.

Задачами подсистем сбыта являются: учет выделенных фондов; формирование квартального заказа производства с разбивкой по месяцам; учет сдачи готовой продукции на склад; выполнение плана поставок и договорных обязательств; составление отчетности.

Работники отдела сбыта подготовляют исходную оперативную информацию на машинный носитель на телетайпах.

Большинство систем управления сложными объектами (участок – цех – завод) строится по иерархическому принципу. Под иерархической АСУТП понимают систему управления технологическим объектом, которая разбивается на две и более человеко-машинные подсистемы, решающие задачи управления на своем иерархическом уровне. При этом обеспечивается автоматический обмен информацией между уровнями, а также взаимодействие в режиме диалога между оперативным персоналом и техническими средствами соответствующего уровня. Простейшая реализация иерархической системы по двухуровневой схеме состоит из центрального (координирующего) управляющего вычислительного комплекса – группы управляемых (координируемых) регуляторов (локальных подсистем). Такую структуру широко использовали еще в 60-е годы при автоматизации непрерывных технологических процессов.

Обобщенная блок-схема иерархической системы управления представлена на рис. 119.

В АСУ человек использует вычислительную технику как инструмент для получения и обработки информации, на основании которой проводит расчеты и принимает решения о дальнейшей управляющей деятельности.

§ 64. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Рассмотрим простейший пример системы автоматического управления температурой в электрической печи (рис. 120).

В печи *1* имеется три зоны *3, 5, 6*, в каждой из которых должна поддерживаться определенная температура, зависящая от начальной температуры и числа поступающих на термообработку деталей *8*, а также режима работы нагревателей *2*.

Детали *8*, поступающие в первую зону печи *6*, уменьшают температуру в ней, термопара *4* фиксирует ее понижение и передает электрический сигнал в ЭВМ через устройство ввода информации, которое преобразует его в цифровой код, принимаемый ЭВМ. Получив этот код, ЭВМ обрабатывает его по специальной программе и выдает управляющее воздействие в устройство вывода информации. Устройство преобразует код в электрический сигнал для воздействия на исполнительный механизм *7* (автотрансформатор), регулирующий нагрузку нагревателя, повышая ее и, соответственно, повышая температуру в первой зоне печи. По мере нагревания деталей система снижает нагрузку, удерживая температуру на заданном уровне. Такие же системы регулируют температуру во второй и третьей зонах.

На примере видно, что АСУТП – это комплекс технических средств, состоящий из объекта управления – технологического оборудования (печи), датчиков (термопар), устройств ввода и вывода информации, программы, управляющей ЭВМ, исполнительного механизма (автотрансформатора) и рабочего механизма (нагревателя).

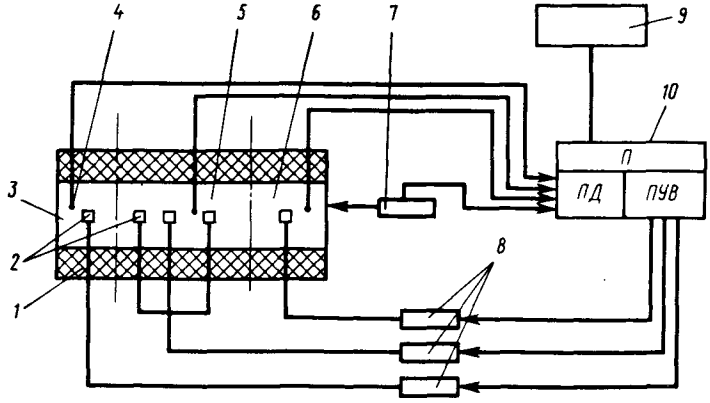


Рис. 120. Схема управления температурным режимом печи:
1 – печь, *2* – нагреватели, *3, 5, 6* – третья, вторая и первая зоны печи, *4* – термопара, *7* – деталн, *8* – исполнительный механизм, *9* – пульт управления, *10* – ЭВМ; *П* – программа, *ПД* – прием данных, *ПУВ* – передача управляющих воздействий

Все технические средства, указанные в примере, имеют регламентированные определения.

Технологическим объектом управления называется совокупность технологического оборудования и реализованного на нем технологического процесса производства.

Автоматизированной системой управления называется комплекс технических средств для приема информации и выработки управляющих воздействий на технологический процесс с целью обеспечения оптимальных режимов.

Функция АСУТП – это сбор информации о режимах, технологических процессов и выработка команды для их изменения по программе. *Информационная функция* АСУТП – это сбор, преобразование, хранение информации о состоянии управляемого технологического процесса, представление этой информации оперативному персоналу или передаче ее для последующей обработки. *Управляющая функция* АСУТП – это выработка решений и осуществление управляющих воздействий на технологический процесс.

Датчик информации – это прибор, осуществляющий восприятие измеряемой величины и преобразование ее в выходной унифицированный сигнал, удобный для передачи по линиям связи и дальнейшего преобразования.

Исполнительным устройством называется механизм управления, осуществляющий преобразование сигнала управления в физический параметр.

Программное обеспечение – это совокупность программ, обеспечивающая реализацию всей функции АСУТП.

Использование АСУТП экономически целесообразно и технически обосновано в тех процессах, где имеется много параметров, подлежащих регулированию, например, при изготовлении оксидно-полупроводниковых конденсаторов (длительность цикла 20–40 дн). В этом процессе секции подвергаются различным физико-механическим и химическим воздействиям, от точности задания и поддержания которых зависит качество конденсаторов. Процесс включает около 30 операций, при выполнении которых необходимо контролировать 13 параметров в более 600 точках.

Классификация автоматизированных систем управления. Объекты управления различны по своей сложности и назначению.

Информационные системы проводят сбор и предварительную обработку технологической информации и выдают ее оператору в удобной форме. Примером может служить система сбора и обработки информации в цехе, когда ЭВМ подсчитывает количество деталей, прошедших ту или иную технологическую операцию, сравнивает эти данные с планом, определяет количество комплектующих деталей и материалов на складах, сводит эти данные в таблицы и по требованию начальника цеха или диспетчера отображает эту информацию на экране телевизора или отпечатывает на специальном печатающем устройстве.

Информационно-советующие системы собирают, обрабатывают первичную информацию, сравнивают ее с допустимыми пределами отклонений различных параметров объекта управления и, в случае опасного отклонения этих параметров от нормы, выдают рекомендации оператору, как надо действовать в создавшейся ситуации. Например, система управления цехом

может быть развита до информационно-советующей, если в программу работы ЭВМ ввести функции анализа сокращения складских запасов ниже допустимого уровня или накопления деталей на какой-либо технологической операции в результате поломки оборудования. В этом случае система выдает тревожное предупреждение и рекомендации о пополнении складских запасов или передаче лишних деталей на другое оборудование. В случае отказа системы подобного рода функции ЭВМ выполняет оператор, а технологический процесс продолжается не в оптимальном режиме, т.е. происходит ухудшение технико-экономических характеристик объекта.

Управляющие системы обеспечивают автоматический сбор информации об объекте, выработку решений по результатам обработки полученной информации и выдачу управляющих воздействий. В рассматриваемом нами примере цеховая АСУТП может быть развита до управляющей системы, если будут обеспечены автоматические запуск оборудования, распределение потоков обрабатываемых деталей и пополнение складских запасов. В этом случае при возникновении аварийных ситуаций ЭВМ автоматически выключит неисправное оборудование, включит резервное и направит поток обрабатываемых деталей к включенному резервному оборудованию без участия операторов. При отказе системы управления все производство остановится и объект управления самостоятельно функционировать не сможет. Поэтому при построении управляющих сиетем особое внимание уделяют повышению надежности и "живучести" систем.

Как видно из приведенных примеров, управляющие системы являются наиболее совершенными, хотя реальные системы управления технологическими процессами могут содержать элементы всех трех типов систем.

Наиболее простыми и распространенными управляющими системами являются локальные АСУТП, которые сосредоточены в одном месте и управляют отдельными единицами оборудования, не имеющими связи с другими системами и объектами. Частным случаем локальных АСУТП является ЧПУ станков и оборудования, когда обработку сложных деталей осуществляют по заранее разработанной программе под воздействием ЭВМ или микропроцессора.

Распределенные (однородные) АСУТП состоят из нескольких локальных систем управления, связанных между собой линией связи, позволяющей передавать необходимую технологическую информацию из одной локальной АСУТП в другую. Такой принцип построения АСУТП характерен для автоматических линий, состоящих из ряда однотипных автоматов, последовательно обрабатывающих изделий.

Иерархическая АСУТП, охватывающая целое производство или часть его, состоит из пирамиды различных систем управления технологическими процессами, в основании которой находятся локальные АСУТП. Распределение обязанностей локальных АСУТП, находящихся на одном производственном участке, осуществляет ЭВМ-координатор, которая подчинена ЭВМ-распорядителю. Процесс иерархического подчинения может нарастать до соединения с АСУП, в функции которых входит оперативно-календарное планирование, расчеты планово-экономических показателей предприятий.

По иерархическому принципу строятся гибкие автоматизированные производства (ГАП), имеющие автоматизированный склад, несколько про-

изводственных ячеек, состоящих из станков с ЧПУ, роботов-манипуляторов, обеспечивающих загрузку и выгрузку деталей из станков с ЧПУ, и транспортных роботов, осуществляющих перевозку поддонов с заготовками и готовой продукцией между автоматизированным складом и производственными ячейками.

§ 65. АСУТП В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Рассмотрим АСУТП нижнего уровня — станок намотки металлобумажных конденсаторов с ЧПУ. Секция конденсатора состоит из четырех бумаг толщиной около 10 мкм, две из которых с одной стороны металлизированы, а две других выполняют роль диэлектрика. Для обеспечения электрической прочности конденсатора и исключения возможности короткого замыкания одна из металлизированных бумаг делается короче. Схема автомата приведена на рис. 121.

Конструкция этого автомата отличается от обычного электромеханического, описанного в § 20, тем, что у последнего все шпиндели и другие исполнительные механизмы имеют один привод и связаны между собой механическими связями. Кроме того, имеется электрическая часть с контактной системой, которая отключает или включает соответствующие механизмы в работу для выполнения отдельных операций и намотки в целом.

В автомате с ЧПУ механизмы имеют свой привод (электродвигатель, электромагнит, пневмоцилиндр с электромеханическим клапаном и др.),

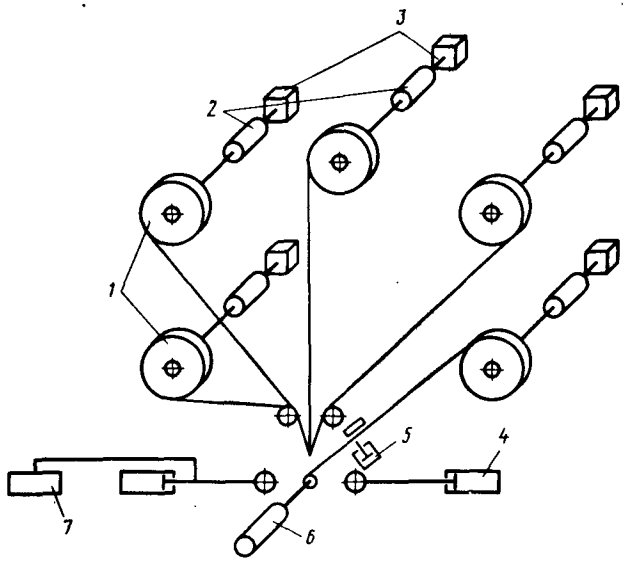


Рис. 121. Схема автомата намотки с ЧПУ:
1 — рулоны с конденсаторной бумагой, *2* — электромагнитные тормоза, *3* — датчики вращения рулонов, *4* — исполнительный механизм, *5* — механизм обрезки кабельной бумаги, *6* — главный привод, *7* — датчик диаметра секции

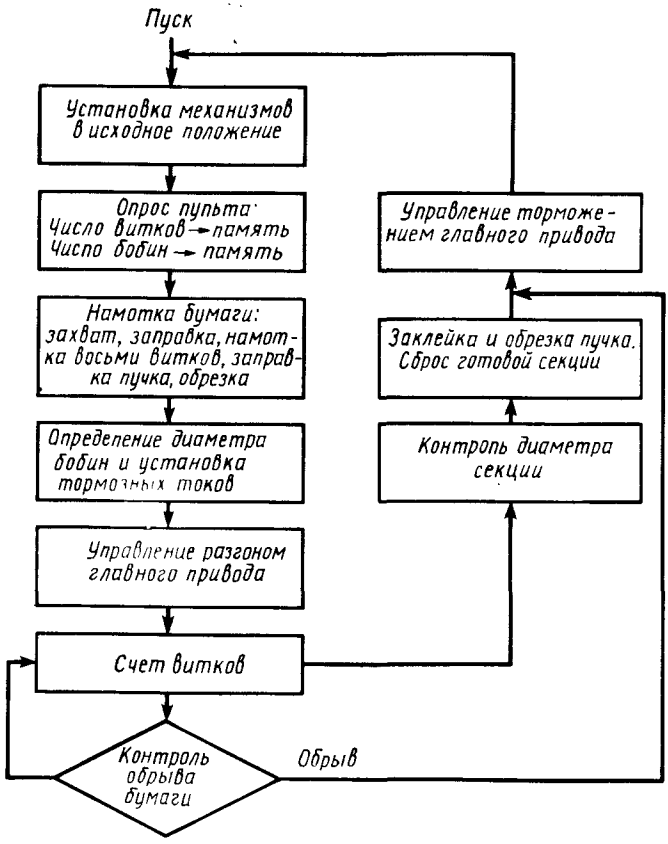


Рис. 122. Схема управления работой автомата намотки с ЧПУ

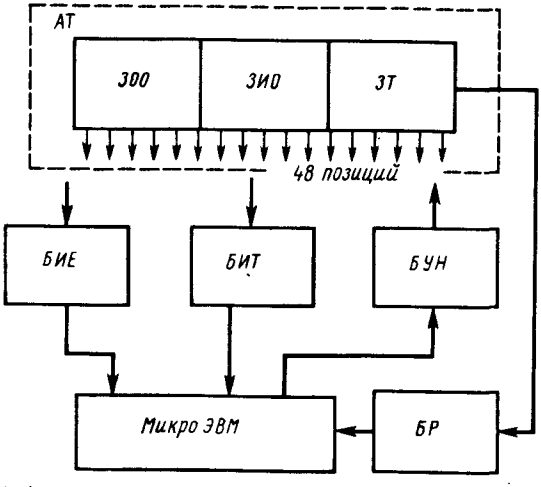


Рис. 123. Функциональная схема управления линией термообработки полистирольных конденсаторов:
АТ – агрегат термообработки, ЗОО – зона обязательной обработки, ЗИО – зона индивидуальной обработкн, ЗТ – зона термостабилизации, БИЕ – блок измерения емкости, БИТ – блок измерения температуры, БУН – блок управления нагревателем, БР – блок раскалибровки по классам точности

который включается и отключается для выполнения соответствующей операции по команде ЧПУ в определенной последовательности, обеспечивая полный цикл намотки секции. Кроме того, имеется ряд датчиков, контролирующих качество и точность намотки.

Схема работы автомата намотки с ЧПУ приведена на рис. 122.

По команде ЧПУ приводятся в исходное положение механизмы захвата, заправки и обрезки бумаги, заклейки и сброса секции.

Последующая команда осуществляет начало намотки: захват бумаги, заправку ее в оправку и намотку нескольких витков на малой частоте вращения, после чего заправляются концы металлизированной бумаги и увеличивается частота вращения оправки. Во время намотки производится счет витков и контроль диаметра секции, что определяет точность намотки. При достижении заданного числа витков по команде ЧПУ главный привод останавливается, производится заклейка и обрезка бумаги и сброс секции. После этого система приводится в исходное положение и цикл повторяется.

В качестве примера АСУТП рассмотрим систему управления операцией термообработки полистирольных фольговых конденсаторов с высокой точностью номинального значения емкости (отклонение емкости от номинального значения ±1%).

Характерной особенностью полистирольных конденсаторов является изменение емкости под действием температуры спекания, т.е. регулируя температуру термообработки, можно уменьшить отклонение емкости, образовавшееся при намотке секции, и добиться получения конденсаторов заданной емкости с высокой степенью точности.

Агрегат термообработки состоит из 48 последовательно расположенных (в линию) индивидуальных термокамер с нагревательным элементом, датчиком температуры и контактами для измерения емкости. В каждую термокамеру загружается одна секция. Термокамеры передвигаются от начальной позиции до конечной (рис. 123).

Процесс обработки начинается с измерения емкости секции, загруженной в термокамеру. Значение емкости передается в ЭВМ, которая рассчитывает температурный режим ее обработки. Для обеспечения рассчитанного режима в процессе обработки постоянно измеряется температура (датчиком температуры) и соответственно корректируется режим работы нагревателя. После окончания термообработки производится повторное измерение емкости и раскалибровка секций по классу точности.

Работа АСУТП формовки анодов танталовых конденсаторов описана в § 37.

§ 66. ГИБКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Для современного производства всех видов изделий электронной техники характерны постоянное усложнение их конструкций и увеличение номенклатуры, частая смена типономиналов, сокращение сроков освоения, а также уменьшение доли ручного труда. Решение этих задач осуществляется созданием гибкого автоматизированного производства (ГАП).

Понятие "автоматизированное производство" не ново во многих отраслях промышленности. В частности, в конденсаторостроении имеются авто-

матические линии ЛАС для сборки трубчатых керамических конденсаторов КТ-1 и КТ-2, линии сборки керамических, металлобумажных, электролитических и других конденсаторов. Эти линии относятся к категории "жестких", так как они не могут автоматически перестраиваться на выпуск конденсаторов других типоразмеров и номиналов и обслуживаются операторами. Загрузка заготовок осуществляется вручную.

Гибкое автоматизированное производство отличается от других видов производства комплексностью, т.е. наличием автоматических склада заготовок, транспортных средств для доставки тары с заготовками (напольная автоматическая тележка или подвесной конвейер), роботов для загрузки заготовок из тары в бункер, специального технологического оборудования, конвейеров подачи изделий на склад готовой продукции.

Гибким это производство называют потому, что оно обеспечивает автоматический перевод изготовления изделий одного типономинала на другой (по команде ЭВМ), а автоматизированным потому, что все операции выполняются автоматически под управлением ЭВМ. При этом в первую смену осуществляются подналадка и настройка оборудования, отработка программ, обеспечение заготовками и другие вспомогательные операции. В оставшееся время оборудование работает в автоматическом режиме. Во вторую и, возможно, третью смены оборудование также работает в автоматическом режиме без участия человека (такой режим работы называется "по безлюдной технологии").

Работа такого сложного комплекса в автоматическом режиме возможна только при наличии многоуровневой автоматической системы управления от ЭВМ как отдельным оборудованием (ЧПУ, АСУТП), так и системой в целом (АСУП).

Таким образом, ГАП – это производственная структура (линия, участок, цех, завод), действующая на основе "безлюдной технологии", в которой работа всех производственных компонентов координируется как единое целое многоуровневой системой управления, обеспечивающей быструю перестройку технологии изготовления при смене объектов производства. В систему ГАП входят: модуль (ГПМ), линия (ГПЛ), участок (ГПУ), цех (ГПЦ), завод (ГПЗ).

Гибкий производственный модуль – это комплекс основного технологического оборудования, оснащенного устройствами программного управления, смены инструмента, удаления отходов, контроля и управления технологическим процессом, а также изделиями (накопителем, автооператором или промышленным роботом). Модуль предназначен для автономной работы и встраивания в систему более высокого уровня.

Линия, участок – это комплекс, состоящий из двух и более единиц технологического оборудования (модулей), объединенных автоматизированными системами управления и транспортно-накопительными системами.

В линию входит различное оборудование, выполняющее несколько последовательных технологических операций в процессе изготовления изделий, в участок – однотипное оборудование, выполняющее одну технологическую операцию.

Цех – это комплекс, состоящий из двух и более линий и участков,

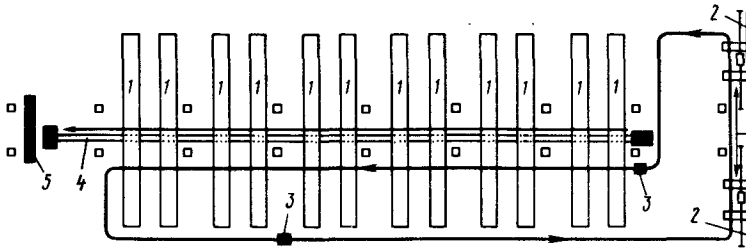


Рис. 124. Гибкое автоматическое производство керамических конденсаторов К10-7В:
1 – автоматическая линия сборки LKF, *2* – автоматический склад, *3* – автоматическая транспортная подвесная система, *4* – транспортер автоматической разгрузки оборудования, *5* – накопитель готовой продукции

предназначенный для последовательного выполнения технологического процесса.

Завод – зто комплекс, состоящий из цехов, линий участков и другого технологического оборудования.

В конденсаторостроении ГАП создаются для производства керамических К10-7В, К10-17, оксидно-полупроводниковых К53-19, пленочных К73-15А конденсаторов.

Гибкий автоматизированный участок сборки керамических конденсаторов К10-7В (рис. 124) состоит из линий LKF сборки, автоматической транспортно-накопительной системы и АСУ.

Выдача заготовок с автоматического склада на одну из автоматических линий LKF производится по команде АСУ, при этом включается привод элеватора секции автоматического накопителя, работающий в режиме разгрузки. Полка с нужными заготовками останавливается в позиции съема тары с заготовками. Далее включается механизм перегрузки, который снимает тару с полки элеватора и устанавливает ее на приводной роликовый конвейер накопителя. Затем тара с заготовками перемещается в зону загрузки, в которой срабатывают датчики распознавания индекса и остановка привода конвейера. Индекс тары передается в ГАУ, производится его проверка и система управления дает команду на перемещение транспортного робота в зону загрузки. Транспортный робот берет тару с заготовкой, доставляет ее к автоматической линии сборки конденсаторов заданного типономинала и останавливается в зоне приемного устройства линии.

После этого включается привод механизма пересыпки, который поворачивает тару, высыпая заготовки в бункер загрузки, и возвращается в исходное положение. Транспортный робот опускает захват, берет порожнюю тару и перемещает ее в одну из элеваторных секций накопителя. Порожняя тара из этой секции перегружается на напольную тележку и отвозится на участок вжигания. На автоматической линии LKF выполняются технологические операции сборки конденсаторов К10-7В. Готовые конденсаторы поступают на упаковку и автоматической транспортной системой подаются на склад.

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение и функции ЭВМ в управлении технологическим процессом?
2. Может ли ЭВМ заменить человека?
3. Каковы преимущества ЭВМ в производственном процессе?
4. Какие системы называют управляющими и информационными?
5. Каково значение ЭВМ в управлении технологическим процессом?
6. Каково значение ЭВМ в управлении производством?
7. Чем отличается ГАП от автоматической линии?

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, ЕДИНСТВО МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 67. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Стандарты являются важнейшей государственной технической функциональной системой, устанавливающей единство норм, параметров, размеров, технических характеристик и качества продукции, а также условий, правил, терминов, обозначений и других параметров применения. Например, в нашей стране стандартизирован промышленный электрический ток: в производстве используется трехфазный ток частотой 50 Гц и напряжением 220/380 В. В соответствии с этим все выпускаемые радио- и измерительные приборы, а также электрооборудование и аппаратура, за исключением специальных, рассчитаны на работу на этом напряжении. Нарушение и невыполнение стандартов не допускается.

По значению и области действия стандарты делятся на четыре категории: Государственные (ГОСТ), отраслевые (ОСТ), республиканские (РСТ), предприятия или объединения (СТП) и соответственно действуют в масштабах страны, союзной республики, отдельной отрасли промышленности (например, электронной) или предприятия.

Разработкой, внедрением и контролем соблюдения стандартов занимаются специальные службы стандартизации, возглавляемые Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР (Госстандарт СССР). В систему Госстандарта СССР входят несколько научно-исследовательских институтов и территориальные лаборатории государственного надзора. Кроме того, в каждой отрасли имеются головные и базовые организации, а на предприятиях — специальные подразделения по стандартизации. Территориальные (областные, краевые и межрайонные) лаборатории осуществляют задачи, функции и права Госстандарта СССР на закрепленной территории, несут ответственность за состояние стандартизации и метрологии на предприятиях и в организациях, расположенных на этой территории. Отраслевые головные и базовые организации являются общесоюзными службами, координируют работу по стандартизации по определенным техническим направлениям, обеспечивая единство технической политики на предприятиях отрасли.

§ 68. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Процесс, включающий в себя все виды работ, в результате выполнения которых сырье, полуфабрикаты и другие материалы превращаются в готовые изделия, называется *производственным.* В производственный процесс входят как изготовление самого изделия, так и оборудования, инструментов, приспособлений (основной), а также обеспечение материалами и полуфабрикатами и подготовка необходимой технической документации (вспомогательный).

К основным относятся процессы получения заготовок и деталей, сборка и испытание готовых изделий, а к вспомогательным – процессы, связанные с изготовлением и ремонтом инструмента, приспособлений и оборудования, необходимых для выполнения основного процесса, а также обеспечением энергией и материалами. Основные и вспомогательные процессы, в свою очередь, могут быть разделены на отдельные этапы, которые позволяют рассчитать процесс изготовления изделия по длительности выполнения и необходимым затратам труда.

Часть производственного процесса, при проведении которого материалы и полуфабрикаты претерпевают изменения формы и свойств, становясь деталями, собираемыми в готовое изделие, называют *технологическим процессом.*

Технологический процесс, в свою очередь, подразделяется на более мелкие части – технологические операции. *Технологической операцией* называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Технологическая операция состоит из установов, технологических и вспомогательных переходов.

Установом называется часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы. Примером установа является обработка одной или нескольких поверхностей заготовки при фиксировании ее относительно одной базовой поверхности. Переустановка этой же заготовки относительно другой базовой поверхности в ходе выполнения той же операции на том же оборудовании является новым установом.

Технологическим переходом называется законченная часть технологической операции обработки одной или нескольких поверхностей детали без смены инструмента.

Вспомогательным переходом называется законченная часть технологической операции, при выполнении которой не происходит изменений формы и размеров деталей, необходимых для выполнения технологического перехода. К вспомогательным переходам можно отнести, например, загрузку заготовок в бункеры автоматов, смену рабочего инструмента и др.

При производстве конденсаторов пользуются определенной технической и технологической документацией.

Технической документацией являются технические условия и конструкторские документы на конденсаторы, а технологической – комплекс документов, в которых излагается технологический процесс.

Техническими условиями определяются назначение, размеры, харак-

теристики, качество и надежность конденсаторов, а также условия их применения, эксплуатации, поставки, упаковки и др. Конструкторская документация — это комплекс чертежей общего вида всех типономиналов изделий и их составных деталей с указанием точных размеров, допустимых отклонений, необходимых материалов, а также их норм расхода.

Технологическая документация — это комплекс документов, описывающих технологию изготовления конденсаторов: технологические режимы и операции, оборудование, инструмент и оснастку, сырье, материалы и комплектующие изделия, трудовые процессы, а также контроль качества выпускаемых конденсаторов. Основными технологическими документами являются: маршрутные, технологические операционные и контрольные карты, спецификации оборудования, оснастки и инструмента; технологические инструкции на вспомогательные работы.

В маршрутной карте излагается последовательность выполнения технологических и контрольных операций изготовления деталей и конденсаторов в цехах, на участках, а также указаны различные нормативные данные по материалам, труду и др.

Операционная технологическая карта разрабатывается на каждую конкретную технологическую операцию в строгом соответствии с технологическим маршрутом, указанным в маршрутной карте (например, сборка, контроль, обрезка выводов, пайка крышки с корпусом и др.) и предназначена для рабочего (оператора).

В технологическую карту входят:

сведения о содержании и последовательности выполнения технологической операции (переходы, приемы и трудовые действия);

технологические режимы обработки;

данные о применяемом оборудовании, оснастке, инструменте и таре;

перечень и технические характеристики всех используемых материалов, деталей, сборочных единиц и полуфабрикатов;

указания оператору по контролю качества изготовляемого изделия;

требования производственной гигиены, безопасности и научной организации труда.

Контрольная карта является операционной картой контроля качества изготовляемых конденсаторов, предназначена для контролера ОТК или цехового контролера, составляется в соответствии с маршрутной картой на каждую контрольную операцию и содержит:

технологию проведения контроля;

применяемые средства;

данные об используемых при контроле материалах;

указания о проценте контролируемых изделий и признаках забракования;

методы контроля;

требования безопасности труда.

Технологическая инструкция является дополнением к технологической или контрольной карте на ответственные операции и содержит добавочные сведения по осуществлению технологического процесса, правилам пользования оборудованием и приборами, физико-химическим явлениям и методикам контроля, а также безопасности труда и производственной гигиене.

§ 69. ЕДИНЫЕ СИСТЕМЫ КОНСТРУКТОРСКОЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Для изготовления каждого вида конденсаторов научно-исследовательскими институтами (НИИ), конструкторскими бюро (КБ) и техническими отделами заводов разрабатывается, а на производстве действует большое количество различной технической документации. Учитывая, что на каждом предприятии производится несколько видов конденсаторов, разработанных различными НИИ (КБ) в различное время, а предприятий в отрасли довольно много, нетрудно представить, какое огромное количество документов одновременно действует и какие трудности возникли бы, если бы эта документация по-разному оформлялась и учитывалась.

Поэтому вся документация разрабатывается в соответствии с требованиями Государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системы технологической документации (ЕСТД).

Единая система конструкторской документации, по которой разрабатываются чертежи на основное производство (конденсаторы, спецтехнологическое оборудование, инструмент и оснастку), устанавливает:

единство правил выполнения и оформления конструкторской документации на различных предприятиях;

сокращение объема документов, упрощение правил оформления чертежей и схем;

сокращение времени поиска ранее спроектированных изделий и их составных частей;

преемственность при обработке документации.

Единая система технологической документации, по которой оформляется технологическая документация на основное и вспомогательное производство, испытания, входной контроль, а также транспортирование изделий, предназначена для обеспечения:

тесной взаимосвязи с положениями и требованиями ЕСКД и единой системы технологической подготовки производства;

создания единых форм технологических документов со строгими правилами их заполнения;

разделения всей информации для выполнения технологических операций по нескольким документам в зависимости от их назначения;

возможности кодирования всей имеющейся информации и использования ее в условиях автоматизированной системы управления производством (АСУП).

В Единую систему технологической документации входят четырнадцать видов документов трех типов: общего назначения, по видам работ и прочие, обращающиеся в цехах основного и вспомогательного производства, которые соответственно содержат описания технологического процесса изготовления изделия и его элементов, а также другую информацию, необходимую для ведения технологического процесса и документации.

Введение ЕСКД и ЕСТД обеспечивает:

повышение качества выпускаемых изделий;

сокращение сроков и затрат по технологической подготовке производства, а также объема действующей технической и технологической документации;

взаимообмен документацией между предприятиями и отраслями и возможность автоматизированного проектирования.

Освоение новых изделий и последующий длительный их выпуск могут осуществляться только при условии полной технологической подготовки производства. Технологическая подготовка считается полной, если на предприятии имеются разработанные комплекты конструкторской, технологической, технико-экономической и организационно-технической документации, смонтировано и отлажено специальное технологическое оборудование, изготовлены или получены в необходимом количестве для запланированного объема выпуска изделий инструмент и оснастка, а также обучен инженерно-технический и производственный персонал.

Сложный и длительный процесс подготовки производства устанавливается Единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП). Государственными стандартами ЕСТПП регламентируется выпуск изделий в соответствии с техническими условиями, в установленный срок, в заданном количестве и с плановым объемом затрат на подготовку при максимальном использовании унифицированных и типовых технологических процессов, средств автоматизации и механизации, новых методов организации производства и вычислительной техники.

В ЕСТПП предусматривается три уровня решения задач технологической подготовки производства: общесоюзный, отраслевой и предприятия, которые, соответственно, регламентируются комплексами государственных стандартов, отраслевыми нормативно-техническими документами (стандартами на технологические процессы, оборудование, оснастку и средства организационной техники) и документами, разработанными на основе ГОСТов, ОСТов, директивных решений и указаний вышестоящих организаций применительно к конкретным условиям производства.

Все это обеспечивает комплексное проведение работ, сокращает сроки подготовки и освоения производства и, в свою очередь, повышает его эффективность.

§ 70. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Под управлением качеством понимают установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества изделий при их разработке, производстве и эксплуатации, осуществляемые систематическим контролем и целенаправленным воздействием на условия и факторы, влияющие на качество продукции. Система управления качеством охватывает стадии разработки, изготовления и эксплуатации конденсаторов.

На стадии разработки качество обеспечивается при составлении технического задания на выполнение работ. При этом определяют технические параметры будущих конденсаторов на основе изучения параметров аналогичных изделий, выпускаемых в нашей стране и за рубежом, уточняют потребность в них, учитывают научно-технические достижения. Выбор материалов и конструирование из них деталей, не трудоемких в изготовле-

нии, но обеспечивающих определенные технические параметры, лежит в основе создания конденсаторов. При изготовлении деталей и сборке конденсаторов должны применяться новейшие технологические процессы и высокомеханизированное и автоматизированное оборудование.

Управление качеством на стадии разработки направлено на обеспечение технического уровня разрабатываемых конденсаторов при заданных ограничениях на ресурсы и сроки разработки и определяется специальными нормативными документами.

На стадии производства качество обеспечивается такими факторами, как чистота исходных материалов, технический уровень и состояние оборудования инструмента и оснастки, совершенство технологических процессов, степень подготовки производственного персонала и соблюдение им технологической дисциплины. Управление качеством на стадии производства направлено на выпуск конденсаторов с параметрами, предусмотренными техническими условиями, при минимальных затратах материалов и труда и также определяется специальными нормативными документами.

На стадии эксплуатации наиболее объективными показателями качества конденсаторов является их безотказная работа в аппаратуре. Управление качеством на стадии эксплуатации направлено на обеспечение надежного функционирования конденсаторов в течение установленного срока службы в соответствии с правилами, определенными нормативно-технической документацией. Задачами управления качеством на этой стадии являются сбор и анализ информации о дефектах и отказах конденсаторов, выработка эффективных решений по устранению недостатков.

§ 71. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА МЕР И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для обеспечения необходимой точности измерений параметров конденсаторов и работы контрольно-измерительных приборов большое значение имеет единство мер и методов иэмерений, имеющих научную и организационную основы, техническую и нормативную базы.

На предприятиях метрологическое обеспечение осуществляется метрологической службой, деятельность которой определяется "Типовым положением о ведомственных метрологических службах". Методы измерений регламентируются Государственной системой обеспечения единства измерений (ГИС).

Технической базой метрологического обеспечения являются системы:

государственных эталонов единиц физических величин;

передачи размеров единиц физических величин от эталонов к образцовым средствам измерений;

разработки и выпуска в обращении рабочих средств измерений;

обязательных государственных испытаний средств измерений;

обязательной государственной и ведомственной поверки или метрологической аттестации средств измерений.

Контрольные вопросы

1. Какие стандарты действуют в нашей стране?
2. Каково содержание маршрутных операционных и контрольных карт и технологических инструкций?
3. Каково назначение Единых систем конструкторской и технологической документации?
4. Какие виды работ входят в технологическую подготовку производства?
5. Что понимают под управлением качеством, чем оно обеспечивается на производстве?
6. Что обеспечивает необходимую точность измерений и работы контрольно-измерительных приборов?

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

§ 72. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Охрана труда имеет первостепенное значение для повышения производительности труда и сохранения здоровья работающих, в частности, ликвидации причин несчастных случаев, предупреждения травматизма и профессиональных заболеваний. В Советском Союзе охрана труда регламентируется Конституцией СССР, а также Кодексом законов о труде и является одним из аспектов деятельности руководителей предприятий и административно-технического персонала всех уровней.

Необходимым условием безопасного труда является твердое знание и строгое соблюдение каждым работающим требований техники безопасности и производственной санитарии. Знания правил техники безопасности приобретаются во время обязательного вводного инструктажа при поступлении на работу, первичного инструктажа и обучения на рабочем месте, стажировки, повседневного инструктажа, повторного инструктажа и курсового обучения.

Техника безопасности – это комплекс технических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасный труд на производстве. Эти мероприятия регламентируются "Правилами техники безопасности и производственной санитарии", предусматривающими предупреждение профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также оказание первой помощи пострадавшим при несчастном случае.

В производстве конденсаторов довольно мало технологических операций связано с тяжелыми и вредными условиями труда. Такими операциями в основном производстве являются: пропитка секций в баках периодического действия и другом открытом оборудовании; пайка выводов и корпусов свинцом, оловом и сплавами на их основе; окраска и лакировка; испытание герметичности в горячем масле, этиленгликоле и других токсичных веществах; герметизация компаундами на основе эпоксидных смол; шлифовка керамики абразивами (сухим способом).

Во вспомогательном производстве к ним относятся: заварка изоляторов газовыми горелками и в муфельных печах; металлизация медью, свинцом, цинком и другими металлами; приготовление растворов, смесей, серебросодержащих паст; серебрение слюды; зачистка рамок вакуумных установок от серебра; травление и формовка; травление керамики плавиковой кислотой.

При выполнении некоторых из этих операций на организм работающего воздействуют пары и пыль токсичных веществ и металлов. Приготовление растворов, смесей и паст, отмывка в легковоспламеняющихся жидкостях имеют серьезную пожаро- и взрывоопасность. Поэтому соблюдение правил техники безопасности на этих операциях имеет важнейшее значение.

Так как в условиях производства на организм человека могут оказывать отрицательное влияние такие факторы, как недостаточная освещенность, шум, вибрация, действие ультразвука, поражение электрическим током, необходимо знать допустимые нормы и строго соблюдать требования техники безопасности.

Одним из важнейших мероприятий по охране труда и техники безопасности является противопожарная профилактика — система мероприятий, обеспечивающих взрыво- и пожаробезопасность на производстве.

§ 73. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

Изготовление конденсаторов в основном является высокомеханизированным производством, при котором большинство технологических операций выполняется автоматически и полуавтоматически. В первом случае функции человека сводятся к управлению оборудованием и контролю за его работой, а во втором — к загрузке деталей и наблюдению за работой оборудования.

Чтобы обеспечить наиболее благоприятные режимы работы и высокую производительность труда, рабочее место и оборудование конструируют с учетом таких требований эргономики, как выбор рабочей позы, рабочей зоны и движений при выполнении операций, а также освещения, архитектурного и цветового решения интерьера и рациональных режимов.

Для обеспечения высокой производительности, точности и качества выполняемых технологических операций трудовой процесс должен быть организован так, чтобы все движения были экономными, кратковременными, легкими и безопасными. Скорость движений не должна превышать оптимальную для мышечной и нервной систем человека.

В течение рабочего дня, разделенного обеденным перерывом на две половины, работоспособность человека меняется и характеризуется тремя периодами: начальным, в течение которого производительность повышается до максимальной; средним — максимальной производительности, длительность которого у всех работающих различна и зависит от их подготовки и физического состояния; заключительным, в течение которого производительность снижается из-за наступления утомляемости.

Таким образом, при организации работы, например на конвейере, ритм его движения необходимо периодически изменять, а при выполнении индивидуальных операций темп работы должен менять сам рабочий. Однообраз-

ные кратковременные операции, вызывающие утомляемость, следует выполнять, периодически изменяя рабочую позу, ритм работы или рабочую операцию (на конвейере).

На операциях, требующих большого внимания и точности движений, рекомендуются частые короткие паузы, а при тяжелой физической работе – редкие длительные. Периодичность и вид пауз регламентируются индивидуально для каждой операции.

Способствуя росту эмоциональных и эстетических ощущений человека в производственных условиях, такие средства технической эстетики, как архитектурное и цветовое решения интерьеров помещений, а также внешнего вида оборудования и приборов, снижают утомляемость и повышают трудоспособность. Средства технической эстетики используют также в технике безопасности: оборудование и его детали, особенно опасные в отношении травматизма, окрашивают в различные цвета. Так, в желтый и оранжевый цвета окрашивают движущиеся части оборудования, а в красный – останавливающие его работу.

§ 74. ПРОМЫШЛЕННАЯ САНИТАРИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

Как уже отмечалось, при производстве конденсаторов условия выполнения некоторых технологических операций отрицательно воздействуют на организм человека, вызывая преждевременную утомляемость, что снижает производительность труда и увеличивает возможность выхода брака, а главное, может привести к травме, профзаболеванию или несчастному случаю (взрыву, пожару).

Нормальные условия труда в большой степени зависят от состояния производственных помещений, которые в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 11 005.067–82 делятся на три категории. В помещениях I категории выполняются ответственные технологические операции, в помещениях II категории – операции по подготовке деталей и сборочных единиц, а в помещениях III категории – операции, не требующие специальных условий.

Отделка помещений, планировка оборудования, энергоснабжение, вентиляция, освещение выполняются только по проектам, согласованным со службой техники безопасности и пожарного надзора.

Проходы и проезды внутри производственных помещений должны иметь ясно обозначенные границы; загромождать их категорически запрещается. При размещении оборудования, коммуникаций, электропроводок и других технических устройств и сооружений необходимо учитывать безопасное и удобное их обслуживание. Оборудование и рабочие места с однородными производственными факторами вредности должны группироваться в одном месте. Источники производственного шума и вибрации должны иметь изоляцию с тем, чтобы их воздействия не превышали санитарных норм.

Полы на рабочих местах должны закрываться подножными решетками, подстилками или ковриками, а там, где они недопустимы, быть утепленными, нескользкими и выполненными из токонепроводящих материалов.

Общее освещение помещений может быть естественным и искусствен-

ным. При недостаточном общем освещении вводят дополнительно местное освещение. Преимущество отдается естественному освещению, но в тех случаях, когда оно недостаточно, вводят искусственное. В качестве источников света при искусственном освещении рекомендуется использовать люминесцентные лампы, при этом должно быть исключено влияние стробоскопического эффекта.

В производственных помещениях разных категорий должны постоянно поддерживаться соответствующие температура, влажность и подвижность воздуха, которые регламентируются специальными нормами. Оптимальные климатические условия в рабочих помещениях обеспечиваются как централизованными, так и местными системами кондиционирования.

Концентрация вредных веществ в рабочих помещениях не должна превышать предельно допустимых норм, приведенных в требованиях производственной санитарии.

Основными направлениями защиты человека от воздействия пыли, паров и газов, особенно с большой концентрацией вредных примесей, является создание автоматического оборудования, совершенствование технологических процессов с целью исключения токсичных веществ, внедрение локальных средств герметизации (выполнение операций в специальных вытяжных шкафах, скафандрах и боксах). Обычные рабочие помещения должны быть оборудованы централизованной или местной вентиляцией. Причем местные вентиляционные устройства должны быть сблокированы с оборудованием так, чтобы его нельзя было включить при выключенном отсосе. При выполнении некоторых операций можно использовать индивидуальные средства защиты: респираторы, маски, очки и специальную одежду (комбинезоны, халаты, фартуки, обувь и перчатки).

Работающим на вредных операциях предоставляется дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, специальное питание.

При работе оборудования от вращения роторов двигателей, а также движения различных механизмов и деталей возникают механические колебания, энергия которых частично преобразуется в звуковую и распространяется в воздухе помещений и по конструкциям здания, вызывая их вибрацию. Большое количество звуков различной силы и частоты образует механический шум. Кроме механического шума бывают электромагнитный, аэродинамический и гидравлический шумы, возникающие соответственно в электромагнитных устройствах переменного тока, при истечении воздуха и воды.

Шум большой силы оказывает вредное действие на организм человека (развивается глухота, нарушается ритм сердечной деятельности и органов дыхания, замедляются психологические реакции, ослабляются память, внимание и острота зрения) и может быть причиной травматизма и профессиональных заболеваний. Поэтому уровень шумов в производственных помещениях регламентируется санитарными нормами.

Основными мерами снижения шума и защиты от него являются: совершенствование технологических процессов и конструкций оборудования, качественное его изготовление и своевременный профилактический ремонт, а также использование звукопоглощающих и звукоизолирующих ограждений и средств индивидуальной защиты.

Механические колебания большой амплитуды и очень низкой частоты вызывают сотрясения и вибрацию, которые также оказывают вредное действие на организм человека. Длительное воздействие вибрации большой силы может привести к профессиональному заболеванию, называемому виброболезнью. Поэтому вибрация в производственных помещениях регламентируется соответствующими санитарными нормами. Для ослабления вибрации используют оборудование с усовершенствованными кинематическими схемами, виброгасители и упругие подвески, амортизацию, изоляцию опор и фундаментов, а также индивидуальные средства защиты (заглушки, вставляемые в слуховой канал, противошумные наушники, обувь на виброгасящей подошве и антивибрационные перчатки).

В производстве конденсаторов для пайки, лужения, отмывки, пропитки, помола, смешивания и других технологических операций применяют ультразвуковые установки, работа которых сопровождается распространением звуковых колебаний в диапазоне частот 20–70 кГц. При этом образуется слышимый шум интенсивностью 100–120 дБ. Длительное воздействие ультразвука на организм человека вызывает слабость, усталость, снижение пульса, растройство сна, головные боли и боли в ушах. Поэтому ультразвуковое оборудование должно иметь защиту (экраны и кожухи) или устанавливаться в специальных камерах из звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов. Кроме того, должны использоваться индивидуальные средства защиты – шумопоглощающие наушники.

Все возрастающий объем использования электроэнергии в производстве конденсаторов требует усиления внимания к обеспечению электробезопасности труда. Опасность поражения электрическим током велика потому, что человек не может без специальных приборов определить наличие и значение напряжения.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, электрическое и биологическое воздействия. Поражение электрическим током зависит от многих причин, в том числе от того, какой ток действует (постоянный или переменный), каковы его сила и напряжение, продолжительность воздействия, а также от индивидуальных особенностей человека, пути прохождения тока через тело человека, вида контакта и др. Влажность в помещении, повышенная температура воздуха, содержащиеся в воздухе пыль, химически активные пары и газы увеличивают опасность поражения электрическим током.

При обслуживании и эксплуатации электрооборудования для защиты человека от поражения электрическим током ограничивают рабочие напряжения, применяют защитное заземление и зануление корпусов электроустановок, станков и механизмов, электрическое разделение сетей, а также проводят систематический контроль и профилактику повреждений изоляции. Кроме того, устанавливают защитные ограждения, предохраняющие от случайного прикосновения к токоведущим частям оборудования, и защитное отключение (блокировку). Защита от поражения электрическим током регламентируется "Правилами устройств электроустановок". Залогом безопасной работы является знание правил техники безопасности и строгое их выполнение всеми работающими.

§ 75. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Пожары на производстве представляют наибольшую опасность, так как могут привести к материальным потерям и человеческим жертвам. При пожаре повреждаются здания, оборудование, материалы и выпускаемые изделия, а главное, на длительное время нарушается технологический процесс производства, что может привести к сокращению выпуска конденсаторов и, в свою очередь, к нарушению технологического цикла на заводах-потребителях. Особенно тяжелы бывают человеческие травмы. Поэтому пожарная безопасность имеет первостепенное значение.

Профилактическими мерами пожарной безопасности и техникой пожаротушения занимаются специальные пожарные службы, имеющиеся на каждом предприятии. Соблюдать правила пожарной безопасности обязан каждый работающий.

Наибольшую пожарную опасность на предприятиях представляют хранение, транспортировка и обработка горючих материалов, а также работающее неисправное электрооборудование. Предупреждение пожаров на производстве осуществляется комплексом профилактических мероприятий:

технических, заключающихся в соблюдении противопожарных норм и правил проектирования и устройства зданий и сооружений, систем электроснабжения, отопления и вентиляции, грозозащиты и пожарной сигнализации;

эксплуатационных, заключающихся в соблюдении противопожарных правил эксплуатации механического и электрооборудования, зданий и окружающей территории;

организационных, заключающихся в организации обучения производственного персонала противопожарным правилам, разработки инструкций и наглядной агитации, организации мест со средствами пожаротушения;

режимных, заключающихся в ограничении применения открытого огня в пожароопасных местах (курения, производства газо- и электросварочных работ).

Для быстрого обнаружения возникающих пожаров производственные помещения оборудуются специальной пожарной электросигнализацией, которая состоит их извещателей автоматического или ручного действия, соединенных с центральной приемной станцией, где круглосуточно находится дежурный пожарной команды, организующий в установленном порядке ликвидацию пожарного очага.

Для тушения возникающих пожаров помещения должны быть оснащены водопроводными гидрантами, снабженными пожарными рукавами и стволами, спринклерными или дренчерными установками, а также огнетушителями. Кроме того, в определенных местах должны постоянно храниться ведра, багры, лопаты, песок, емкости для воды и другие вспомогательные средства.

Контрольные вопросы

1. Какие требования необходимо выполнять при организации рабочего места?
2. Какие требования предъявляют к производственным помещениям?
3. Каким требованиям должно отвечать освещение помещений?

4. Какое воздействие на организм человека оказывают шум, вибрация и какие средства защиты от них применяют?

5. Какое воздействие на организм человека оказывает электрический ток и какие средства защиты от поражения им применяют?

6. Каковы причины возникновения пожаров и взрывов и меры их предупреждения?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Закгейм Л.Н. Электрические конденсаторы. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963.

Карпихин В.В. Производство радиоконденсаторов постоянной емкости. – М.: Высшая школа, 1977.

Касаткин А.С. Основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1986.

Лебедовский М.С. и др. Автоматизация производства конденсаторов. – М.: Энергия, 1976.

Пономаренко В.Д. и др. Стеклоэмалевые и стеклокерамические коиденсаторы. – М.: Энергия, 1972.

Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. – Л.: Энергия, 1969.

Справочник по электрическим конденсаторам/ Под ред. В.В. Ермуратского. – Кишинев: Штиинца, 1982.

Бирштейн А.А., Филиппов В.Д., Цветков В.Н. Электронные вычислительные машины и программирование. – М.: Статистика, 1975.

Криницкий Н.А. Алгоритмы вокруг нас. – М.: Наука, 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава первая. Осиовиые параметры коидеисаторов 5

§ 1. Классификация конденсаторов 5
§ 2. Емкость 6
§ 3. Температурный коэффициент и температурная стабильиость емкости 7
§ 4. Сопротивление изоляции 8
§ 5. Тангенс угла диэлектрических потерь 9
§ 6. Электрическая прочность 9
§ 7. Надежность 11
§ 8. Удельные характеристики 12
§ 9. Основные конструкции и схемы соединения секций 12

Глава вторая. Кондеисаторы с органическим диэлектриком 15

§ 10. Основные виды и особенности конструкции 15
§ 11. Бумажные и металлобумажные конденсаторы 16
§ 12. Пленочные и металлопленочные конденсаторы 19
§ 13. Конденсаторная бумага 23
§ 14. Пленки 24
§ 15. Пропиточные материалы 24
§ 16. Припои и флюсы 26
§ 17. Резка бумаги, плеики и фольги 27
§ 18. Лакировка бумаги 31
§ 19. Металлизация бумаги и пленок 33
§ 20. Намотка секций при изготовлении бумажных, металлобумажных, пленочных и металлопленочных конденсаторов 36
§ 21. Опрессовка секций 41
§ 22. Сушка и пропитка секций 43
§ 23. Металлизация торцов секций 46
§ 24. Герметизация конденсаторов 48
§ 25. Пайка 50
§ 26. Промывка герметизированных конденсаторов 53
§ 27. Проверка конденсаторов на герметичность 54
§ 28. Окраска конденсаторов 55
§ 29. Сушка окрашенных конденсаторов 58
§ 30. Маркировка конденсаторов 59
§ 31. Технология сборки конденсаторов 60

Глава третья. Электролитические коидеисаторы 67

§ 32. Основные виды и особенности конструкций 67
§ 33. Основные материалы 72
§ 34. Электрохимическая обработка алюминиевой фольги 76
§ 35. Намотка и пропитка секций алюминиевых электролитических конденсаторов 78
§ 36. Технология сборки алюминиевых электролитических кондеисаторов 80
§ 37. Технология сборки объемно-пористых конденсаторов 84

Глава четвертая. Слюдяные конденсаторы 96
§ 38. Основные виды и особенности конструкции 96
§ 39. Слюда 100
§ 40. Подготовка слюды к сборке 101
§ 41. Серебрение слюды методом вакуумного испарения 102
§ 42. Сборка пакетов 104
§ 43. Пропитка и опрессовка пакетов 107
§ 44. Технология сборки слюдяных конденсаторов 109

Глава пятая. Керамические, стеклокерамические, стеклоэмалевые и стеклопленочные конденсаторы 113

§ 45. Керамические конденсаторы 113
§ 46. Приготовление керамической массы, формовка и обжиг заготовок 118
§ 47. Приготовление паст для металлизации 123
§ 48. Герметизация секций конденсаторов 124
§ 49. Технология сборки трубчатых керамических конденсаторов 126
§ 50. Технология сборки монолитных и секционных керамических конденсаторов 134
§ 51. Технология сборки подстроечных конденсаторов 138
§ 52. Стеклокерамические, стеклоэмалевые и стеклопленочные конденсаторы 139
§ 53. Технология сборки стеклоэмалевых, стеклокерамических и стеклопленочных конденсаторов 142
§ 54. Тонкопленочные конденсаторы 147

Глава шестая. Контроль электрических параметров конденсаторов 150

§ 55. Особенности выполнения массовых измерений 150
§ 56. Приборы для измерения емкости 153
§ 57. Приборы для измерения тангенса угла диэлектрических потерь . . . 156
§ 58. Приборы для измерения температурного коэффициента емкости . . 157
§ 59. Приборы для измерения сопротивления изоляции 158
§ 60. Приборы для испытания электрической прочности 160
§ 61. Измерение параметров электролитических конденсаторов 162
§ 62. Автоматизированные устройства для одновременного измерения нескольких параметров 164

Глава седьмая. Автоматизированные системы управления технологическими процессами и производством 167

§ 63. Роль ЭВМ в управлении технологическим процессом и производством 167
§ 64. Основные термины и определения 170
§ 65. АСУТП в производстве конденсаторов 173
§ 66. Гибкие автоматизированные системы 175

Глава восьмая. Стандартизация, единство методов и средств измерений . . 178

§ 67. Общие сведения 178
§ 68. Технологический процесс. Основные термины и определения 179
§ 69. Единые системы конструкторской технологической документации и технологической подготовки производства 181
§ 70. Система управления качеством 182
§ 71. Обеспечение единства мер и методов измерений 183

Глава девятая. Охрана труда и техника безопасности 184

§ 72. Основные положения 184
§ 73. Организация труда 185
§ 74. Промышленная санитария и безопасность труда 186
§ 75. Пожарная безопасность 189

Рекомендуемая литература 190